



# Modélisation, optimisation et simulation pour la planification tactique des chaînes logistiques

Michael Comelli

## ► To cite this version:

Michael Comelli. Modélisation, optimisation et simulation pour la planification tactique des chaînes logistiques. Autre [cs.OH]. Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II, 2008. Français. NNT : 2008CLF21838 . tel-00730176

**HAL Id: tel-00730176**

**<https://theses.hal.science/tel-00730176>**

Submitted on 7 Sep 2012

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

N° d'ordre : 1838  
EDSPIC : 403

**UNIVERSITE BLAISE PASCAL – CLERMONT II**  
**ECOLE DOCTORALE DES SCIENCES POUR L'INGENIEUR DE CLERMONT-FERRAND**

# **THESE**

Présentée par

**Michael Comelli**

Ingénieur de l'Institut Français de Mécanique Avancée  
Diplôme d'Etudes Approfondies en Génie Industriel – Ecole Centrale Paris

en vue d'obtenir le grade de

**DOCTEUR D'UNIVERSITE**

**Spécialité : INFORMATIQUE**

---

***Modélisation, optimisation et simulation pour la planification  
tactique des chaînes logistiques***

---

Soutenue publiquement le 3 juillet 2008 devant le jury :

M.	Alain Quillot	Président de jury
M.	Hakim Artiba	Rapporteur
M.	Bernard Grabot	Rapporteur
Mme.	Valérie Botta Genoulaz	Examineur
M.	Michel Gourgand	Directeur de thèse
M.	Nikolay Tchernev	Co-encadrant de thèse



## REMERCIEMENTS

Je tiens à adresser mes remerciements les plus sincères à M. Michel GOURGAND, directeur de cette thèse, pour m'avoir accueilli au sein de son équipe. J'ai particulièrement apprécié sa confiance, ses conseils et son suivi. Je remercie également M. Nikolay Tchernev co-encadrant de cette thèse. Ses conseils et ses connaissances dans le domaine de la chaîne logistique ont été un réel apport.

Je remercie chaleureusement mon compagnon de thèse et ami, David Lemoine, pour tout ce qu'il m'a apporté au cours de ces trois ans de collaboration. Je remercie également Pierre Fenies pour avoir initié notre travail commun concernant les flux financiers.

Je tiens par la même occasion à remercier tous les membres de l'équipe MAD-LOG du LIMOS. Une mention spéciale aux montluçonnais, Sylvie, Nathalie et Laurent pour leur aide et leur accueil. Un grand merci, enfin, à mes deux autres compagnons de thèse Julie et Patrice.

Je n'oublie pas l'équipe de recherche de l'IFMA et surtout M. Christophe Caux ainsi que Ludovic Dégrés pour m'avoir fait découvrir le domaine de la recherche et m'avoir conseillé de faire un doctorat.

Je remercie enfin l'ensemble de mes proches, amis et coéquipiers du SCN pour m'avoir accompagné au cours de ces trois années de doctorat.



## SOMMAIRE

### INTRODUCTION GENERALE 8

### CHAPITRE 1 : LES PROBLEMATIQUES TACTIQUES DES CHAINES LOGISTIQUES, DES ENJEUX MAJEURS 12

<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>13</b>
<b>2. LA NOTION DE CHAINE LOGISTIQUE OU SUPPLY CHAIN.....</b>	<b>13</b>
2.1. LA CHAINE LOGISTIQUE DECRITE PAR LES ENTITES.....	13
2.2. LA CHAINE LOGISTIQUE DECRITE PAR LES FLUX.....	14
2.3. LA CHAINE LOGISTIQUE DECRITE PAR LES ACTIVITES.....	15
<b>3. LE SUPPLY CHAIN MANAGEMENT ET SES ENJEUX A UN NIVEAU TACTIQUE.....</b>	<b>17</b>
3.1. FONDEMENTS DU SUPPLY CHAIN MANAGEMENT.....	17
3.2. LES PROBLEMATIQUES DE PLANIFICATION DU SCM ET SES ENJEUX.....	17
3.3. LA PLANIFICATION TACTIQUE, ENJEU MAJEUR DU SCM.....	21
3.4. LA GESTION DE STOCK, MAILLON ESSENTIEL DE LA PERFORMANCE- ETUDE D'UN MODE DE GESTION A DEMANDE DIFFERENCIEE.....	28
<b>4. CONCLUSION.....</b>	<b>32</b>

### CHAPITRE 2 : ETAT DE L'ART 34

<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>35</b>
<b>2. PROPOSITION D'UNE CLASSIFICATION DES MODELES DE LOT SIZING ET DES METHODES DE RESOLUTION POUR LA PLANIFICATION TACTIQUE (Comelli <i>et al</i>, 2007) (a).....</b>	<b>35</b>
2.1. INTRODUCTION.....	35
2.2. CLASSIFICATION DES MODELES DE LOT SIZING.....	36
2.3. CLSP MODELE DE REFERENCE POUR LE PLAN DIRECTEUR DE PRODUCTION.....	37
2.4. CLASSIFICATION DU CLSP.....	39
2.5. CLASSIFICATION DU CLSP-ST.....	40
2.6. MLCLSP – MODELES MULTI NIVEAU: MODELISATION DU MRP.....	45
2.7. MODELES DE LOT SIZING MULTI SITE.....	50
2.8. REMARQUES SUR LES INSTANCES.....	52
2.9. CONCLUSION.....	52
<b>3. LES PROBLEMATIQUES DE LA PLANIFICATION TACTIQUE NON LIEES A L'OPTIMISATION.....</b>	<b>53</b>
3.1. INTRODUCTION.....	53
3.2. SYNCHRONISATION VERTICALE.....	53
3.3. PRISE EN COMPTE DE L'INCERTAIN.....	55
<b>4. OUTILS ET METHODES DU SUPPLY CHAIN COSTING POUR L'EVALUATION DES PERFORMANCES .....</b>	<b>55</b>
4.1. SUPPLY CHAIN COSTING.....	56
4.2. SYNTHESE.....	60
<b>5. LES OUTILS D'AIDE A LA DECISION POUR LE SCM.....</b>	<b>63</b>

5.1.	INTRODUCTION.....	63
5.2.	REPONSES LOGICIELLES AU SCM.....	63
5.3.	CONCLUSION.....	66
<b>6.</b>	<b>LA GESTION DE STOCK A DEMANDE DIFFERENCIEE.....</b>	<b>67</b>
6.1.	INTRODUCTION.....	67
6.2.	CONTRIBUTIONS MAJEURES.....	67
6.3.	COMPARAISON DES POLITIQUES DE STOCK.....	68
6.4.	SYNTHESE.....	69
<b>7.</b>	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>70</b>
<b>8.</b>	<b>LA METHODOLOGIE ASCI.....</b>	<b>71</b>
8.1.	LE PROCESSUS DE MODELISATION.....	71
8.2.	LE PROCESSUS DE MODELISATION DEDIE AU SYSTEME.....	73
8.3.	ANALYSE ET SPECIFICATION.....	73
8.4.	CONCEPTION ET IMPLANTATION.....	74
8.5.	ANALYSE DES RESULTATS DE L'ETUDE ET PRISE DE DECISIONS.....	75
8.6.	SYNTHESE DE LA METHODOLOGIE.....	76

## **CHAPITRE 3 : MODELISATION ET OPTIMISATION POUR LA PLANIFICATION TACTIQUE DES CHAINES LOGISTIQUES 78**

<b>1.</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>79</b>
<b>2.</b>	<b>MODELISATION DES PROBLEMES DE PLANIFICATION TACTIQUE DES CHAINES LOGISTIQUES</b>	<b>79</b>
2.1.	MODELE DE CONNAISSANCE SYSTEMIQUE DES CHAINES LOGISTIQUES .....	79
2.2.	LIMITATION DU DOMAINE D'ETUDE FOCALISE SUR LA PLANIFICATION DE PRODUCTION .....	81
2.3.	MODELE MATHEMATIQUE GENERIQUE DE PLANIFICATION TACTIQUE DES CHAINES LOGISTIQUES .....	85
2.4.	CODAGE DE LA SOLUTION .....	89
2.5.	REPRESENTATION D'UNE SOLUTION A L'AIDE D'UN GRAPHE.....	89
2.6.	ARCHITECTURE DE LA METHODE ET VOISINAGES .....	91
<b>3.</b>	<b>APPLICATION DES METHODES APPROCHEES SUR UN CAS D'ETUDE .....</b>	<b>102</b>
3.1.	DESCRIPTION DU CAS D'ETUDE .....	102
3.2.	MODELE DE PLANIFICATION TACTIQUE .....	103
3.3.	MODELE DE PLANIFICATION DE VÖROS.....	104
3.4.	DEFINITION DES METAHEURISTIQUES EMPLOYEES ET DES INSTANCES TRAITEES .....	105
3.5.	RESULTATS DU MODELE DE VÖROS.....	105
3.6.	RESOLUTION DU CAS D'ETUDE .....	106
<b>4.</b>	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>107</b>

## **CHAPITRE 4 : EVALUATION DES FLUX FINANCIERS POUR LA PLANIFICATION TACTIQUE DES CHAINES LOGISTIQUES (Comelli et al. ; 2008) (a) 110**

<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>111</b>
<b>2. CONCEPTION ET IMPLANTATION DE MODELES GENERIQUES D’ACTION POUR L’EVALUATION DU PROCESSUS LOGISTIQUE : L’APPROCHE PREVA.....</b>	<b>111</b>
2.1. PRINCIPE FONCTIONNEL DE L’APPROCHE PREVA .....	111
2.2. PROPOSITION D’UN MODELE ANALYTIQUE GENERIQUE POUR L’EVALUATION DE LA CREATION DE VALEUR FINANCIERE DU PROCESSUS DE PLANIFICATION TACTIQUE D’UNE CHAINE LOGISTIQUE .....	113
2.3. EVALUATION DU CASH FLOW .....	117
2.4. ACTIVITES ET RESSOURCES PRISES EN COMPTE DANS L’ESTIMATION .....	119
2.5. EVALUATION DU CRITERE DE MARGE ABC.....	119
2.6. EVALUATION DU POTENTIEL DE MARGE.....	120
<b>3. SYNTHESE DE L’APPROCHE PREVA .....</b>	<b>120</b>
<b>4. APPLICATION DE L’OUTIL PREVA SUR UN CAS D’ETUDE .....</b>	<b>121</b>
4.1. DESCRIPTION DU CAS D’ETUDE .....	121
4.2. ACTIVITES ET RESSOURCES CONSOMMEES .....	122
4.3. MISE EN ŒUVRE DU MODELE D’ACTION .....	123
4.4. RESULTATS .....	127
<b>5. CONCLUSION.....</b>	<b>129</b>

## **CHAPITRE 5 : OPTIMISATION DES FLUX FINANCIERS ET PARTAGE DE LA VALEUR AU SEIN D’UNE CHAINE LOGISTIQUE (Comelli *et al.*, 2007) (b) 132**

<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>133</b>
<b>2. OPTIMISATION DES FLUX FINANCIERS DANS LE PROCESSUS DE PLANIFICATION TACTIQUE</b>	<b>133</b>
2.1. FORMALISATION MATHEMATIQUE DU CASH FLOW .....	133
2.2. HOMOGENEISATION DES VARIABLES FINANCIERES ET PHYSIQUES .....	135
<b>3. UN PROGRAMME LINEAIRE POUR L’OPTIMISATION DU CASH FLOW D’UNE CHAINE LOGISTIQUE .....</b>	<b>144</b>
3.1. FONCTION OBJECTIF OPTIMISANT LE CASH FLOW GLOBAL .....	144
3.2. FORMALISATION MATHEMATIQUE DU CASH FLOW GLOBAL D’UNE CHAINE LOGISTIQUE.....	145
<b>4. UN CHAINAGE DE PROGRAMMES LINEAIRES POUR L’OPTIMISATION ET LE PARTAGE DES CASH FLOW .....</b>	<b>146</b>
4.1. INTRODUCTION.....	146
4.2. CHAINAGE DE MODELES .....	146
4.3. MODELE MATHEMATIQUE DU PARTAGE DE LA VALEUR.....	146
<b>5. APPLICATION DES OUTILS PROPOSES SUR UN CAS D’ETUDE .....</b>	<b>149</b>
5.1. DESCRIPTION DU CAS D’ETUDE .....	149
5.2. AFFECTATION DES STOCKS .....	150
5.3. CONTRAINTES FINANCIERES .....	150



5.4.	MODELES D'OPTIMISATION DES FLUX FINANCIERS .....	152
5.5.	MODELES DE PARTAGE DE LA VALEUR.....	153
5.6.	EXPLOITATION DES RESULTATS.....	156
<b>6.</b>	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>160</b>

## **CHAPITRE 6 : MODELISATION ET SIMULATION D'UN SYSTEME DE GESTION DE STOCK A DEMANDE DIFFERENCIEE 161**

<b>1.</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>163</b>
<b>2.</b>	<b>MODELE DE CONNAISSANCE .....</b>	<b>163</b>
2.1.	RAPPEL DU CAS D'ETUDE.....	163
2.2.	MODELE DE CONNAISSANCE SYSTEMIQUE .....	164
2.3.	MODELISATION DES PROCESSUS LOGISTIQUES.....	166
<b>3.</b>	<b>SPECIFICATION DES PROCESSUS LOGISTIQUES.....</b>	<b>167</b>
3.1.	SPECIFICATION DU PROCESSUS SATISFACTION CLIENT .....	167
3.2.	SPECIFICATION DU PROCESSUS DE COMMANDES DES MAGASINS AUX USINES.....	168
<b>4.</b>	<b>SIMULATION DES TROIS MODES DE GESTION DE STOCK .....</b>	<b>173</b>
4.1.	ANALYSE SUR LES DONNEES D'ENTREE .....	173
4.2.	MODELISATION DE L'ERREUR A LA MAILLE MARCHE ET A LA MAILLE CLIENT.....	175
4.3.	CADRE EXPERIMENTAL.....	176
4.4.	VALIDATION DU MODELE .....	176
4.5.	RESULTATS .....	177
4.6.	ETUDE DE L'INFLUENCE DE LA DIFFERENCE ENTRE LES TSD DESIRES.....	180
4.7.	SYNTHESE .....	181
<b>5.</b>	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>181</b>

## **CONCLUSION GENERALE 184**

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 186**

## **TABLE DES FIGURES 199**

## **TABLE DES TABLEAUX 202**

## **ANNEXE 203**



## INTRODUCTION GENERALE

La gestion des chaînes logistiques a depuis plusieurs années supplanté les problématiques traditionnelles de gestion de production et de gestion logistique focalisées sur une seule entité. Si l'entité chaîne logistique a toujours existé, la nécessité de gérer ce système dans sa globalité a émergé il y a une vingtaine d'années et a donné naissance aux problématiques dites de « Supply Chain Management ». Les raisons de ce besoin sont diverses et variées. Le recours massif par les entreprises notamment à la sous-traitance et à l'externalisation rend primordial la gestion du flux produit au delà des frontières de l'entreprise. Par ailleurs, l'augmentation des fusions, acquisitions et alliances entre entreprises entraîne une complexification organisationnelle considérable des moyens de production et logistique de chaque entreprise. Cette complexification génère alors au sein des entreprises une chaîne logistique tout aussi lourde à gérer que celle constituée d'entreprises externes. La gestion de tels systèmes dans leur ensemble s'explique par les faiblesses d'une gestion locale traditionnelle de chaque entité de la chaîne logistique. Ainsi la nécessité d'appréhender ces systèmes dans leur globalité pour assurer une performance globale de la chaîne logistique définit à notre connaissance l'essence même du Supply Chain Management.

Les domaines d'étude du Supply Chain Management sont très nombreux et ont trait à des domaines aussi divers que les domaines de la logistique pure, la recherche opérationnelle, le contrôle de gestion, les technologies d'information, ou encore le droit. Notre problématique se focalise sur l'étude de problèmes tactiques des chaînes logistiques. Les problématiques de Supply Chain Management s'inscrivent dans un contexte de problématiques globales hiérarchisées. En effet, le domaine scientifique décrit ces dernières au moyen de trois niveaux : le niveau stratégique, tactique et opérationnel. Ces niveaux diffèrent l'un de l'autre en fonction de leur domaine d'application et de leur temporalité. L'étude conjuguée de ces derniers est primordiale à la performance de tel système. Néanmoins, les problèmes tactiques possèdent la caractéristique de jouir d'une flexibilité suffisante pour assurer un niveau de performance du système aux moyens de décisions qui génèrent des coûts très différents. La spécificité de ce niveau est donc d'offrir aux managers un large panel de décisions directement liées à la future performance.

Les problèmes tactiques liés à la chaîne logistique sont nombreux et divers. Parmi eux, la planification tactique des chaînes logistiques consiste sur un horizon moyen terme à définir des plans de production et de transport au sein d'une chaîne logistique de telle façon à assurer une satisfaction client dans un contexte de maîtrise des coûts et de contraintes physiques et/ou financières. Les problèmes de planification tactique sont des problèmes très étudiés par la communauté informatique et celle de gestion de production. Deux axes d'étude sont privilégiés : la modélisation de ces problèmes et la génération de plans optimaux à partir de modèles de référence. Ces derniers ont pour but de gérer la double complexité des problèmes de planification tactique :

- Une complexité algorithmique ou encore appelée complexité combinatoire. Cette complexité se traduit par la recherche d'une solution minimisant un ou plusieurs critères.
- Une complexité structurelle et fonctionnelle du système. Cette complexité se traduit par la difficulté d'évaluer de manière simple le(s) critère(s) de performance.

La modélisation des problèmes de planification tactique est un problème très vaste et très complexe. Tout d'abord, cette complexité est générée par la compréhension même du problème industriel. Comme mentionné précédemment, l'objectif de la planification tactique est de générer une solution permettant d'assurer un taux de service client minimisant le coût logistique généré. Ainsi, et compte tenu de la diversité des contextes industriels et économiques, la solution apportée doit répondre aux deux questions suivantes :

- La solution générée est-elle pertinente ?
- La solution générée répond-elle aux besoins industriels en termes de critères d'évaluation ?

La pertinence de la solution réside dans la granularité de modélisation requise. Une des complexités de la planification tactique réside dans la définition des contraintes prises en compte ainsi que leur dimensionnement. La multitude des contributions scientifiques portant sur la planification tactique mono site a abouti à la définition de contraintes de références définissant alors des modèles de référence très étudiés d'un point de vue optimisation. Concernant la littérature dédiée à la planification de la chaîne logistique, moins d'études ont été menées ce qui a limité l'émergence de modèles de référence. Les notions de planification de la chaîne logistique demeurent floues par opposition à celles de planification mono site bien définies comme peuvent être le plan directeur de production ou le plan industriel et commercial.

Ceci peut s'expliquer par la diversité des chaînes logistiques étudiées et des problématiques qui leurs sont adjointes. Cette carence engendre alors un manque de connaissance sur les capacités réelles des méthodes d'optimisation dédiées à ce type de problème et provoque notamment une méconnaissance sur la capacité des suites logicielles commerciales proposant un module de planification de la chaîne logistique.

L'un des objectifs de ce travail est donc de proposer un modèle de planification tactique générique pour les chaînes logistiques dédié à une problématique clairement définie. Cette problématique émergeante d'un cas

industriel est généralisée aux chaînes logistiques dites à « nomenclature convergente ». Une méthode d'optimisation dédiée à ce modèle est alors décrite.

Par ailleurs, la majorité des modèles de planification tactique traités dans la littérature est basée sur la minimisation d'une fonction objectif traduisant les coûts logistiques (production, stockage, lancement, pénurie, etc.). L'utilisation d'une telle fonction a pour objectif de transcrire la satisfaction managériale des acteurs de la chaîne logistique. Le but étant de transcrire les phénomènes de profit espéré par le plan tactique envisagé et de choisir celui qui le maximise. Si l'utilisation de ce type de fonction objectif est adoptée par la majorité de la communauté scientifique, de récents travaux ont montré la pertinence de générer les plans tactiques à partir d'indicateurs financiers tels que la valeur dégagée et les niveaux de trésorerie. En effet, au niveau industriel, le processus de planification tactique est suivi par un processus de budgétisation dont l'objectif est d'optimiser les flux financiers sur cet horizon moyen terme. En considérant que le flux financier est la contrepartie monétaire du flux physique et que la satisfaction managériale réside essentiellement dans l'optimisation des flux financiers, il paraît tout à fait pertinent d'étudier l'opportunité de générer les plans tactiques non seulement sur des critères physiques mais également sur des critères financiers.

Le second objectif de ce mémoire est donc d'étudier les liens entre flux financiers et flux physiques au niveau tactique. Le but étant de générer des modèles de planification tactique optimisant non pas une fonction de coût mais une fonction traduisant la valeur dégagée par la chaîne logistique. Compte tenu du domaine étudié, la création de valeur au sein d'une chaîne soulève irrémédiablement la question du partage de cette dernière. Nous présentons ainsi un modèle mathématique permettant de répartir la valeur au moyen de la fixation des prix de cession entre les acteurs de la chaîne logistique.

Les problèmes tactiques de la gestion des chaînes logistiques ne se limitent pas à la génération de plans tactiques. En effet quelle que soit la performance de la planification tactique au niveau de la chaîne logistique, la performance globale est dépendante de décisions prises par la définition de politiques telles que celles de gestion de stock ou de gestion de production (flux tiré, poussé, etc.). Bien qu'appliqués à un niveau opérationnel pour le pilotage des flux, ces problèmes ne peuvent être dissociés de la compréhension globale des enjeux des problèmes tactiques. Nous nous concentrons ici sur l'étude d'un problème de gestion de stock. La spécificité de cette problématique est d'étudier la gestion d'un stock dit à demande différenciée.

Le travail présenté est donc divisé en six chapitres. Le premier chapitre situe le domaine d'étude des problèmes de planification tactique des chaînes logistiques. Nous définissons tout d'abord les notions de chaîne logistique et de Supply Chain Management (SCM). A travers cela, nous définissons en quoi consistent les différentes problématiques liées au SCM et positionnons notre problématique au niveau tactique. Par la suite, nous détaillons les enjeux de la planification tactique de manière à préciser quels sont les enjeux réels d'une planification tactique des chaînes logistiques. Puis nous précisons en quoi consistent les processus de budgétisation et pourquoi il paraît pertinent de proposer une approche conjuguée des flux physiques et financiers. Enfin nous présentons la problématique de la gestion de stock en montrant son impact sur la performance globale puis détaillons la spécificité de la gestion de stock à demande différenciée.

Le second chapitre réalise un état de l'art des différentes problématiques soulevées au chapitre 1. Nous proposons tout d'abord un état de l'art focalisé sur la planification tactique des chaînes logistiques. Ce dernier consiste à analyser et classer les modèles de planification proposés par la communauté scientifique de telle façon à proposer une analyse des méthodes d'optimisation pour la planification tactique. Puis un état de l'art sur les contributions proposant de lier flux physique et flux financier est présenté de manière à prouver la pertinence de l'approche et définir les concepts de ces derniers. Une étude des réponses logicielles de type APS est alors présentée de manière à analyser les performances et les carences de ce type de logiciel concernant la problématique de la planification tactique. Enfin dans une dernière section, un état de l'art concernant la gestion de stock et puis particulièrement la gestion à demande différenciée est réalisé.

Le troisième chapitre se focalise sur la modélisation et la génération de méthodes d'optimisation pour la planification tactique des chaînes logistiques. Un modèle de planification générique pour les chaînes logistiques dites « à nomenclature convergente » est proposé. Une méthode d'optimisation à base de recuit simulé dédiée à ce modèle générique est alors présentée. Une application sur un cas industriel et un modèle de la littérature illustre notre approche.

Le quatrième chapitre présente une formalisation mathématique permettant de lier les flux financiers aux flux physiques. Cette approche basée sur le modèle de coût ABC permet d'évaluer la consommation de ressources engendrée par le flux physique. Une étude de cas industriel permet de montrer la pertinence de l'approche proposée.

Le cinquième chapitre présente une fonction objectif générique optimisant les flux financiers adaptable à l'ensemble des modèles de planification tactique. Cette dernière est générée à partir de la formalisation des flux financiers donnée au chapitre 4. Un modèle de planification tactique des chaînes logistiques dites à nomenclature divergente permettant l'optimisation des flux financiers est ainsi proposé. Le partage de la valeur au sein d'une

chaîne logistique est également traité au moyen d'un modèle mathématique chaîné au modèle de planification tactique.

Le dernier et sixième chapitre traite de la gestion de stock à demande différenciée. Basée sur un cas d'étude industriel, l'étude consiste à démontrer que les résultats obtenus par la littérature sur des systèmes proches s'appliquent au cas d'étude industriel dont la spécificité est d'être basée sur un modèle de gestion de stock dit « proactif ».



# CHAPITRE 1 : LES PROBLEMATIQUES TACTIQUES DES CHAINES LOGISTIQUES, DES ENJEUX MAJEURS

<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>13</b>
<b>2. LA NOTION DE CHAINE LOGISTIQUE OU SUPPLY CHAIN.....</b>	<b>13</b>
2.1. LA CHAINE LOGISTIQUE DECRITE PAR LES ENTITES.....	13
2.2. LA CHAINE LOGISTIQUE DECRITE PAR LES FLUX.....	14
2.3. LA CHAINE LOGISTIQUE DECRITE PAR LES ACTIVITES.....	15
<b>3. LE SUPPLY CHAIN MANAGEMENT ET SES ENJEUX A UN NIVEAU TACTIQUE.....</b>	<b>17</b>
3.1. FONDEMENTS DU SUPPLY CHAIN MANAGEMENT.....	17
3.2. LES PROBLEMATIQUES DE PLANIFICATION DU SCM ET SES ENJEUX.....	17
3.3. LA PLANIFICATION TACTIQUE, ENJEU MAJEUR DU SCM.....	21
3.4. LA GESTION DE STOCK, MAILLON ESSENTIEL DE LA PERFORMANCE- ETUDE D'UN MODE DE GESTION A DEMANDE DIFFERENCIEE.....	28
<b>4. CONCLUSION.....</b>	<b>32</b>

## 1. INTRODUCTION

Nommée sous le terme de Supply Chain Management, la littérature traitant des chaînes logistiques est vaste et traite de problèmes aussi variés que sa conception, son optimisation et sa gestion. Ce chapitre se divise donc en deux parties : la première partie consiste à étudier et définir le concept de chaîne logistique, tandis que la seconde partie a pour but, après avoir défini le Supply Chain Management, de décrire plus particulièrement les problèmes tactiques liés au management de la chaîne logistique.

## 2. LA NOTION DE CHAÎNE LOGISTIQUE OU SUPPLY CHAIN

Le concept de chaîne séduit par son côté représentatif et symbolique. Dans le domaine de la pensée managériale et de la conduite des entreprises, la chaîne de valeur, présentée par Michael Porter (Porter, 1986) a eu un impact très significatif. « La valeur est la somme que les clients sont prêts à payer pour obtenir le produit qui leur est offert ». Au sein de cet agrégat, M. Porter chercha à identifier les lieux essentiels de création de la valeur, de manière à cerner les modalités permettant d'obtenir un avantage concurrentiel (L'entreprise, Paris, Economica, 1995). Forte de son succès, la chaîne de la valeur a été suivie par d'autres : chaîne de la demande, chaîne relationnelle et bien sûr chaîne logistique.

Dans le domaine de la gestion industrielle, la chaîne logistique, ou Supply Chain, est sans nul doute devenue une notion phare partagée par les communautés scientifiques et industrielles. La complexification des réseaux de système de production généré par l'augmentation des alliances, des fusions entre groupes industriels ainsi que le recours intensif aux sous traitants a rendu obsolète l'étude localisée des systèmes industriels. En effet, la performance de ces derniers ne peut être dissociée de celle des fournisseurs, clients ou encore sous traitants. Le concept de chaîne logistique a pour but de décrire ce nouveau système industriel composé de plusieurs entités de production, de distribution reliées entre eux pour satisfaire la demande de clients finaux. L'étude de la littérature présente une multitude de définitions de la chaîne logistique.

(Fenies *et al.*, 2004a) définissent la chaîne logistique comme : « un ensemble ouvert traversé par des flux, composé d'entités et d'acteurs variés autonomes qui utilisent des ressources restreintes (capital, temps, matériel, matières premières, etc.) et qui coordonnent leur action par un processus logistique intégré afin d'améliorer prioritairement leur performance collective (satisfaction du client final, optimisation globale du fonctionnement de la Supply Chain) mais aussi à terme leur performance individuelle (maximisation du profit d'une entité) ». Cette définition présente l'intérêt de décrire la chaîne logistique par la réunion de trois ensembles :

- un réseau composé d'entités physiques (usines, ateliers, entrepôts, distributeurs, grossistes, détaillants, etc.) et d'organisations autonomes (firmes, filiales, business unit, etc.),
- un ensemble ouvert traversé par des flux (financier, matériel, informationnel, etc.),
- un ensemble d'activités regroupées dans un processus logistique intégré dont l'agencement constitue une chaîne de valeur intra et inter-organisationnelle.

De manière à décrire plus finement le domaine de la chaîne logistique et les diverses approches existantes, nous nous appuyons par la suite sur cette décomposition.

### 2.1. LA CHAÎNE LOGISTIQUE DECRITE PAR LES ENTITES

La chaîne logistique est souvent décrite comme un réseau composé d'entités physiques et d'organisations autonomes. (Stadtler et Kilger, 2001) rappellent évidemment que ce réseau ou système n'a de sens que si celui-ci est composé d'au minimum deux entités différentes reliées entre elles par des flux matériels, informationnels et financiers. Une majorité des définitions se focalisent sur la description des entités composant les chaînes logistiques. Ainsi, (Lee et Billington, 1993) définissent la chaîne logistique comme « un réseau de sites de production et de sites de distribution qui se procurent des matières premières, les transforment et les distribuent au consommateur ». (Ganeshan et Harrison, 1995) nous donnent cette définition: « la chaîne logistique est un réseau d'entités de production et de sites de distribution qui réalise les fonctions d'approvisionnement de matières, de transformation de ces matières en produits intermédiaires et/ou finis, et de distribution de ces derniers jusqu'aux clients ». Les chaînes logistiques existent aussi bien dans les organisations de service que de production, bien que la complexité de la chaîne varie d'une industrie à l'autre, et d'une entreprise à l'autre ». (Génin, 2004) propose cette définition : « une chaîne logistique est un réseau d'organisations ou de fonctions géographiquement dispersées sur plusieurs sites qui coopèrent, pour réduire les coûts et augmenter la vitesse des processus et activités entre les fournisseurs et les clients. Si l'objectif de satisfaction du client est le même, la complexité varie d'une chaîne logistique à l'autre. »



La première distinction majeure rencontrée dans la littérature concernant les chaînes logistiques réside dans l'existence dédiée ou non d'une chaîne logistique à un produit. Ainsi deux perceptions majeures s'opposent. Certains auteurs, à l'instar de (Pimor, 2001), considèrent qu'à chaque item (produit, activité ou client) correspond une chaîne logistique et son infrastructure associée. Ainsi, (Rota-Frantz *et al.*, 2001) définissent la chaîne logistique d'un produit comme l'ensemble des entités allant du premier des fournisseurs au client ultime de ce produit. Selon leur définition, il n'est donc pertinent de parler de chaîne logistique que si celle-ci est associée à un item. Une autre vision de la chaîne logistique considère que cette dernière s'applique plus à une firme ou à un ensemble de firmes qu'à un produit (Lee *et al.*, 1997). Concrètement, ces deux conceptions se distinguent l'une de l'autre au niveau de la temporalité considérée. La première considère que les accords, la collaboration et la gestion commune entre plusieurs entités ne peuvent subsister à la durée de vie du produit, alors que la seconde vision considère au contraire que la définition de ce système dépasse le cadre d'un produit unique. Conceptuellement, cette distinction est mineure et ne définit pas deux conceptions totalement différentes de la chaîne logistique pour les problématiques de planification.

La seconde distinction majeure effectuée par la littérature propose de distinguer les chaînes logistiques suivant les aspects légaux qui lient leurs entités. Ainsi, (Colin, 2004) propose de décomposer la chaîne logistique en chaîne logistique interne et chaîne logistique externe. Une chaîne logistique interne est une extension du champ d'influence de la logistique avec la caution de la hiérarchie de la firme. L'auteur considère en effet que l'implication de l'ensemble des acteurs de l'entreprise dans une chaîne logistique interne permet d'améliorer la position de l'entreprise sur son marché. Pour lui, une chaîne logistique externe correspond à l'agencement de plusieurs chaînes logistiques internes.

Ceci distingue concrètement les chaînes logistiques dont l'ensemble des entités appartient à une même firme, de celles qui mettent en jeu plusieurs firmes. De la même façon, (Génin, 2004) définit ainsi deux types de chaîne logistique inter et intra-organisationnelle. Dans le cas où « les entités sont légalement liées », elles forment une chaîne logistique « intra-organisationnelle » qui implique une entité juridique unique, mono ou multi-site. Dans le cas contraire, la chaîne logistique est considérée comme « inter-organisationnelle ».

D'un point de vue planification de la chaîne logistique, la distinction effectuée entre ces deux types de chaîne logistique consiste essentiellement à supposer ou modéliser quel peut être le mode de prise de décision au niveau des entités de la chaîne logistique. En effet, cette distinction génère une conception totalement différente de la prise de décision au niveau de la chaîne logistique. Ainsi, la gestion des chaînes logistiques « inter-organisationnelles » ne peut ignorer la complexité liée à la nécessité de collaboration entre acteurs différents au contraire d'une chaîne logistique intra-organisationnelle où il est aisé de supposer un mode de prise de décision centralisée.

Bien que cette distinction par entité légalement liée ou non soit pertinente dans une majorité de cas pour supposer ou déterminer le mode de prise de décision, elle peut s'avérer insuffisante dans le cas d'entités légales plus complexes telles que des multinationales. Dans ce cas, la distinction entre chaîne logistique interne et chaîne logistique externe est moins évidente. En effet, la chaîne logistique interne d'une multinationale peut être constituée d'entités légales autonomes (des filiales et une maison mère ou holding). Chaque filiale, par exemple par le mécanisme des prix de cession, est cliente d'une autre filiale, à l'instar d'une relation externe client industriel/fournisseur (Bouquin, 2004). Ainsi, quelle que soit la structure capitalistique, légale que revêt une chaîne logistique (des entreprises indépendantes reliées entre elles, ou une multinationale qui possède l'intégralité des entités composant la chaîne logistique), il est possible de s'affranchir des frontières fonctionnelles de l'entreprise pour retenir une coopération totale entre entités des flux logistiques. Pour synthétiser, il semble tout à fait pertinent de supposer un pouvoir décisionnel central au sein d'une chaîne logistique inter-organisationnel. Par contre, en ce qui concerne une chaîne intra-organisationnelle au sens plusieurs entités légalement autonomes, il est possible de supposer les deux modes de décision centralisée ou décentralisée en fonction des hypothèses de collaboration émises.

Nous considérerons donc par la suite les définitions suivantes des chaînes logistiques internes et externes. Nous considérons comme chaîne logistique interne, un ensemble d'entités qui peuvent légalement être autonomes ou non mais chapotés par une hiérarchie qui assure un processus de prise de décision centralisée. Nous considérons donc comme chaîne logistique externe tout ensemble d'entités n'appartenant pas à la définition précédente.

## 2.2. LA CHAÎNE LOGISTIQUE DECRITE PAR LES FLUX

La définition des chaînes logistiques ne se limite pas à la définition des entités et du réseau les constituant. Il est en effet possible d'appréhender ce système, à l'instar de plusieurs auteurs comme (Stadler, 2005) et (Féniès, 2006), par les flux les traversant. Communément, trois types de flux sont considérés :

- le premier flux est le flux physique (achat de matières, transformation des matières premières en produits, livraison des produits). L'optimisation de ce flux vise à satisfaire les clients du système. Selon

(Tchernev, 1997) un flux physique est un ensemble d'unités circulant dans l'espace, sur une surface, un plan, sur une courbe ou une droite suivant une loi précise. La durée des processus de traitement de ces flux permet de planifier la productivité d'un système, tandis que la liaison quantité/temps décrit la productivité du système relativement à ce flux physique.

- le deuxième flux est le flux monétaire ou financier. Ce flux circule en sens inverse du flux physique mais de manière complètement désordonnée. L'optimisation du flux financier est faite de manière locale, dans chaque maillon de la chaîne logistique, mais rarement de manière globale. L'optimisation de ce flux financier (cash-flow) permet a priori d'obtenir la satisfaction des actionnaires des entités de la chaîne logistique et d'améliorer son fonctionnement global (Shapiro, 2001). Le flux financier est la contrepartie monétaire du flux physique. Essentiellement dématérialisé par les nouveaux moyens de paiement, il est impacté (Lysons et Gillingham, 2003) par les objectifs des actionnaires des entités de la chaîne logistique à long terme, la politique de crédit client à moyen terme, et l'ordonnement de la trésorerie à court terme. Le flux financier, constitué des flux monétaires de la chaîne logistique, vise à satisfaire les acteurs ayant contribué au fonctionnement de la chaîne logistique (entités légales, ressources humaines, actionnaires, banques, etc.).
- le troisième flux est le flux informationnel. Il permet la coordination des flux financiers comme physiques entre chaque nœud, et une coordination globale (Fawcett et Magnan, 2001). Quel que soit le niveau hiérarchique du système logistique, les flux d'information contiennent les données nécessaires au pilotage et à la gestion de l'ensemble des activités de cette unité. Les informations suivantes doivent être disponibles :
  - l'information propre aux moyens qui réalisent cette activité (l'état de ces moyens, la connaissance et les données nécessaires à leur fonctionnement, les règles locales pour leur pilotage) ;
  - l'information concernant l'état des activités qui dépendent de cette activité ;
  - l'information sur l'état de cette activité concernant les activités dépendantes ;
  - l'information sur l'état de cette activité concernant le système de gestion de l'unité flexible de production/stockage ou le retour de l'information (feed-back) ;
  - les règles globales pour le pilotage et la gestion de l'ensemble des activités relatives à l'activité considérée.

Comme mentionné précédemment, les chaînes logistiques se distinguent des problèmes traditionnels mono site par leur dimension multi site qui rend primordiales les notions de communication et de collaboration au sein des chaînes logistiques. Ainsi, une grande partie de la littérature traitant des liens entre les divers flux se focalise sur le pilotage du flux physique au moyen du flux d'information. Les travaux sur l'effet bullwhip (Forrester, 1961) en sont la parfaite illustration. (Shapiro et Heskett, 1985) (figure 1-1) présentent ainsi l'importance du couplage entre flux d'information et flux physique dans une perspective de logistique industrielle.

### 2.3. LA CHAÎNE LOGISTIQUE DECRITE PAR LES ACTIVITES

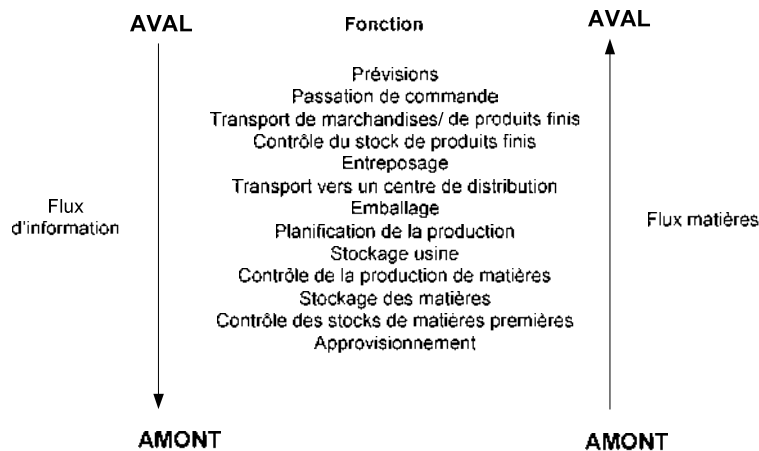
Après avoir défini la chaîne logistique par ses entités et les flux les traversant, nous nous proposons de définir la chaîne logistique par les activités et les processus qu'elle génère et qu'elle supporte. La définition de (Féniès *et al.*, 2004 a) décrit la chaîne logistique à partir d'un ensemble d'activités regroupées dans un processus logistique intégré dont l'agencement constitue une chaîne de valeur intra et inter-organisationnelle.

La définition des chaînes logistiques par l'approche par les processus consiste à décrire les activités entre les entreprises et dans l'entreprise qui permettent de satisfaire le client final (Lee et Billington, 1993 ; Beamon, 1998; New and Payne, 1995). (Tchernev, 1997) présente ainsi l'extension du concept de processus logistique à tout système logistique, et définit le processus logistique comme un ensemble d'activités ordonnées ayant comme objectif la maîtrise et la gestion des flux matières à travers le système logistique, l'affectation et la gestion des ressources du système logistique afin d'assurer un niveau de service au moindre coût.

Les activités supportées par une chaîne logistique pour l'obtention d'une performance optimale sont décrites de manière très semblable par la majorité des auteurs. Ainsi, (Vowles, 1995) définit un certain nombre d'activités du processus logistique dans la chaîne logistique. Ces activités, définies de manière conceptuelle pour un item (produit ou service), concernent :

- les achats d'items,
- le transport des items,
- la production des items,
- le contrôle des items,

- le conditionnement des items,
- le stockage des items,
- la distribution des items,
- la prise de commande.



**Figure 1-1. Le couplage flux physique/ flux informationnel dans une perspective de logistique industrielle (Shapiro et Heskett, 1985)**

(Stadler, 2005) agrège ces activités et suppose que les processus logistiques sont composés de quatre grandes familles d'activités génériques (figure 1-2) :

- approvisionner en matières et services,
- fabriquer des produits et services,
- distribuer les produits et services,
- vendre les produits et services.

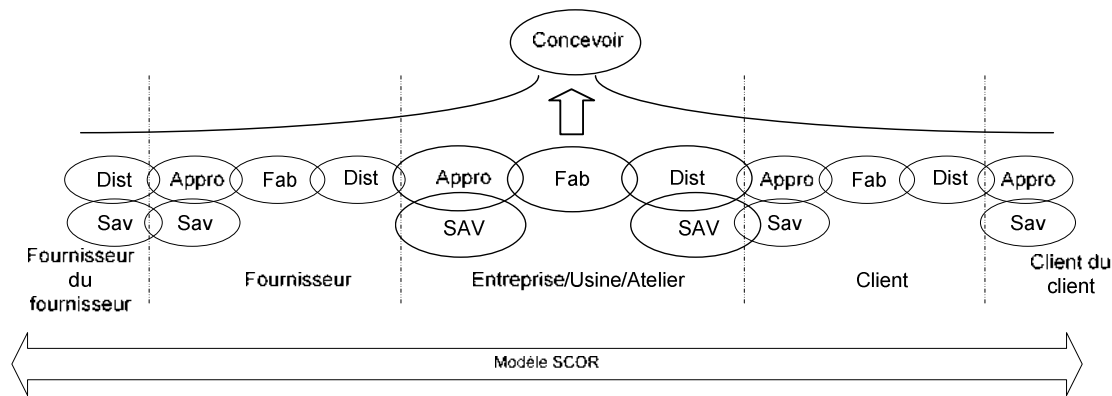


**Figure 1-2. Les activités du processus logistique d'une chaîne logistique (Stadler, 2005)**

Le Supply Chain Council propose également un ensemble de processus et d'activités génériques instanciables pour n'importe quelle chaîne logistique. Ainsi, la chaîne logistique est constituée par des noeuds de processus logistique (une entité de la Supply Chain, une firme). Chaque noeud est à son tour constitué de quatre ou cinq processus très proches des activités présentées par Stadler :

- approvisionner,
- fabriquer,
- distribuer ; cette activité regroupe les activités de distribution et de vente proposées par le découpage de Stadler.
- planifier des activités.

Le modèle SCOR version 7.0 propose en plus une activité générique de Reverse Logistique ou logistique inversée (Richey *et al.*, 2005) qui consiste à collecter un item depuis le lieu de distribution pour le réparer ou le recycler. Si la représentation de la chaîne logistique dans SCOR présente bien le chaînage entre organisations du réseau (figure 1-3), les vues horizontales (croisement des processus) et verticales (hiérarchiques) permettent de déterminer un modèle de référence pour la chaîne logistique utilisant une terminologie commune et instanciable sur n'importe quel système. La décomposition hiérarchique en quatre niveaux de SCOR (Type de processus, Catégorie de processus, Processus décomposé, Eléments de processus) des différents processus génériques ainsi que leur agencement entre entités et dans chaque entité de la chaîne logistique permet d'appréhender la valeur générée par le processus logistique de la chaîne logistique d'un produit ou d'une firme.



**Figure 1-3. Chaînage des processus entre organisations dans la chaîne logistique (Supply Chain Council, 2006)**

### 3. LE SUPPLY CHAIN MANAGEMENT ET SES ENJEUX A UN NIVEAU TACTIQUE

La notion du Supply Chain Management a été vraisemblablement introduite en 1982 par (Oliver et Webber, 1982). A l'instar de la multitude de définitions de la chaîne logistique présentée dans la littérature, le nombre de définitions données au Supply Chain Management ou gestion de la chaîne logistique est également très important.

Les travaux de synthèse de (Stadler, 2005) présentent une compréhension et une connaissance du SCM issue de la recherche opérationnelle très riche et large. Il définit le SCM comme étant « une démarche permettant l'intégration d'unités organisationnelles le long d'une chaîne logistique et la coordination des flux physiques, informationnels, et financiers dans le but de satisfaire le consommateur final et d'améliorer la compétitivité de la supply chain dans son ensemble ». La prochaine section propose de reprendre les travaux de Stadler de manière à offrir une compréhension globale du SCM.

#### 3.1. FONDEMENTS DU SUPPLY CHAIN MANAGEMENT

Stadler propose de regrouper les méthodes et outils nécessaires à la réussite d'une démarche de SCM dans la maison du Supply Chain Management (figure 1-4).

Le toit de la maison du SCM constitue l'objectif d'une démarche SCM, c'est à dire la satisfaction du client final avec l'amélioration de la compétitivité de la Supply Chain dans son ensemble. Ces deux objectifs reposant sur deux piliers que sont l'intégration des membres de la Supply Chain et la coordination des processus.

Le premier pilier est constitué par l'intégration des membres de la Supply Chain : trois « blocs » permettent de construire ce pilier. Il s'agit de la sélection des partenaires, de l'organisation du réseau Supply Chain et du partage du pouvoir dans la Supply Chain.

Le second pilier est constitué par la coordination des processus du management des technologies et de l'information de la communication, du management des processus et de la planification et évaluation de la performance.

Ces deux piliers reposent sur des fondations conceptuelles et académiques issues de plusieurs domaines (logistique, recherche opérationnelle, marketing, théorie des organisations, informatique, etc.).

Dans ses travaux, pour chaque « bloc », (Stadler, 2005) propose systématiquement des pistes « techniques et algorithmiques » pour l'aide à la décision mais aussi des concepts pour le management des hommes. Il montre ainsi que tout problème décisionnel de SCM possède une dimension comportementale et qu'il n'est possible de se lancer dans une démarche de type SCM sans nier l'existence des deux approches.

Ainsi le modèle de Stadler définit deux axes d'approche du Supply Chain Management, l'aide à la décision et l'orientation des comportements. Etant donné nos problématiques, nous focaliserons notre prochain chapitre sur l'aide à la décision.

#### 3.2. LES PROBLEMATIQUES DE PLANIFICATION DU SCM ET SES ENJEUX

Au vu de la section précédente, le SCM réside en une multitude de prises de décisions aussi diverses que le choix de technologies, de partenaires, de mode de collaboration et de fonctionnement. Le modèle de (Stadler, 2001) montre que la performance globale de la chaîne logistique ne peut être obtenue qu'en optimisant et améliorant

chaque pilier de la maison. Notre problématique initiale se concentre sur les problèmes de planification tactique au sein de la chaîne logistique, c'est pourquoi nous nous restreignons dans cette section aux problèmes de planification et d'évaluation de performances décrites par (Stadler et Kilger, 2001).



**Figure 1-4. La maison du Supply Chain Management (Stadler et Kilger, 2001)**

L'étude des travaux traitant de la planification du flux physique fait émerger une vision plus restreinte du SCM. Ainsi, d'après (Thomas et Griffin, 1996), le SCM consiste en « la gestion des flux de matières et des flux d'information à la fois à l'intérieur et entre les entités de la chaîne logistique (fournisseurs, centres de fabrication et d'assemblage et sites de distribution) ». (Simchi-Levi *et al.*, 2003) parlent « d'un ensemble d'approches utilisées pour intégrer efficacement les fournisseurs, les producteurs, les distributeurs et les détaillants de façon à garantir la production et la distribution des produits finis au bon moment, au bon endroit, en bonne quantité, en respectant les exigences des consommateurs finaux et ce, au moindre coût ». D'après (Ellram, 1991), c'est « une approche de gestion intégrée pour la planification et le suivi du flux des matières depuis les fournisseurs jusqu'aux utilisateurs finaux en passant par le canal de distribution ». (Génin, 2004) résume en disant que c'est « une approche intégrée de la gestion, qui consiste à piloter dans leur ensemble, les flux de matières et d'information depuis les fournisseurs jusqu'aux utilisateurs finaux, ainsi que les flux retours au moyen d'outils de planification et d'aide à la décision. Elle a pour but de diminuer les besoins en fonds de roulement de l'entreprise ainsi que de satisfaire les clients par la mise à disposition, au meilleur coût, d'une quantité de produits, à l'endroit et au moment où la demande existe ». La lecture de ces définitions présente une définition du SCM majoritairement axée sur le pilotage et l'optimisation du flux physique. Ainsi le SCM limité aux problèmes de planification consiste à prendre des décisions de natures très diverses (localisation d'entrepôts, choix de partenaires, politique de stock, etc.) prises à des niveaux décisionnels différents et s'appliquant sur des horizons différents. Ces décisions ont alors pour but d'améliorer la performance de la chaîne logistique qui sera évaluée majoritairement en termes de satisfaction client et de coûts logistiques.

(Vollman *et al.*, 1997) définissent le concept académique de planification hiérarchisée. Cette dernière définit trois niveaux de planification. La définition des niveaux est effectuée en tenant compte de l'horizon d'application de la décision prise. Ainsi le premier niveau, nommé problèmes de planification stratégique correspond aux problèmes de conception et de construction du réseau. En effet, ces décisions engagent la chaîne logistique sur un long ou moyen terme dépassant les deux années. Le second niveau, nommé problèmes de planification tactique, regroupe les problèmes de décisions s'appliquant sur un horizon moyen terme (de 3 à 18 mois). Ces derniers ont trait à des problèmes aussi divers que la gestion de stock, la planification de production et de transport, ou encore le besoin en ressources humaines. Le dernier niveau, nommé problèmes de planification opérationnel, regroupe les problèmes liés au pilotage et à l'optimisation opérationnelle de la chaîne logistique. Les décisions prises sont appliquées sur un horizon court terme ne dépassant pas la semaine.

L'approche hiérarchisée (figure 1-5) suppose que chaque plan érigé définit un cadre de décisions dans lequel chaque plan de niveau inférieur doit s'inscrire. Ceci signifie qu'une décision prise à un niveau inférieur ne peut remettre en cause le cadre défini au niveau supérieur. Concrètement, une décision de planification de production ne peut supposer la réouverture d'un site de production par manque de capacité et de même une décision d'ordonnancement ne peut remettre en cause la décision prise au niveau de la planification. Ce fonctionnement suppose ainsi que plus l'horizon de planification est important moins la fréquence de révision est élevée (figure 1-6).

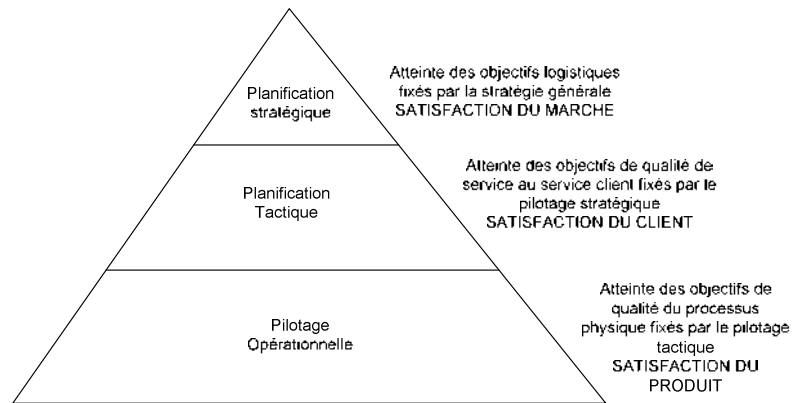


Figure 1-5. Hiérarchisation des problématiques de la chaîne logistique

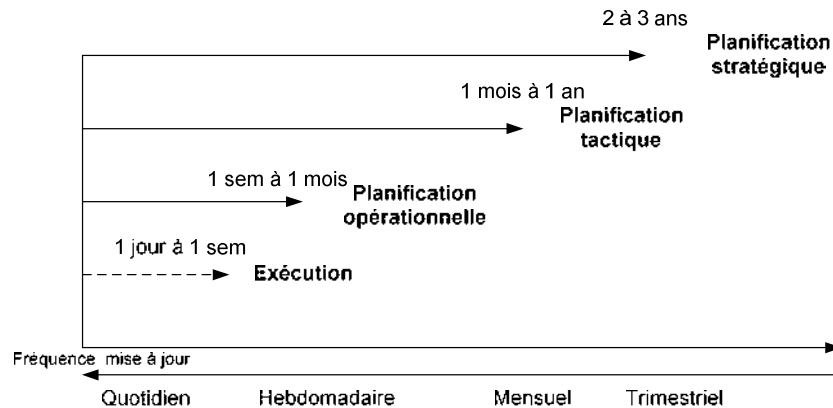
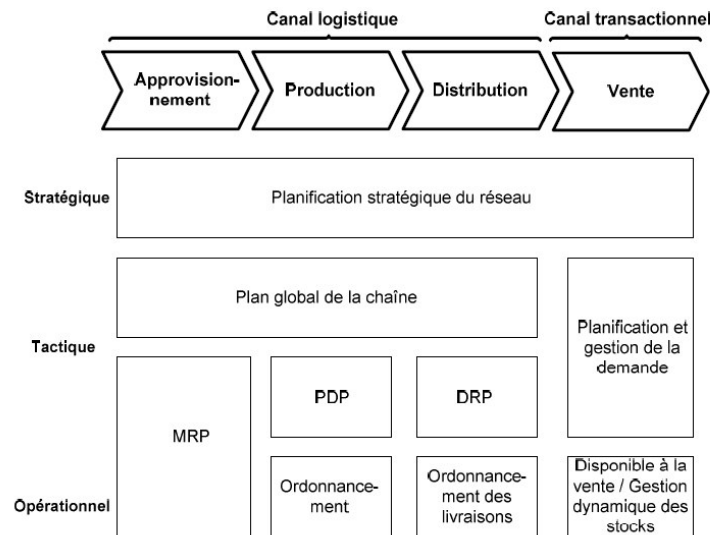


Figure 1-6. Fréquence de remise en cause des problèmes de planification

(Stadler et Kilger, 2005) reprennent la décomposition hiérarchique des problématiques en identifiant les différentes problématiques du SCM (figure 1-7).



**Figure 1-7. Problématique de la planification des chaînes logistiques (Stadler, 2005)**

Même si le contenu de nos travaux se focalise sur les problèmes de planification tactique, nous présentons par la suite succinctement les niveaux de planification stratégique et opérationnelle.

### 3.2.1. PLANIFICATION STRATEGIQUE

(Stadler et Kilger., 2001) qualifie trois grandes familles de problèmes de planification:

- la localisation et la capacité des entités physiques dans le réseau,
- la relation entre donneurs d'ordre et fournisseurs et la sélection des partenaires,
- les stratégies de gestion du processus logistique associée à l'infrastructure

Classiquement, les problèmes stratégiques concernent la création d'un réseau logistique ou la reconfiguration d'un réseau existant (Pirard, 2005). Plusieurs études sur le terrain montrent qu'une Supply Chain n'est pas conçue ex nihilo, mais petit à petit (Cooper *et al.*, 1997, Holweg *et al.*, 2005). Dès lors, la conception d'une chaîne logistique se rapproche beaucoup plus d'un processus de reconfiguration des processus dans l'esprit de (Hammer et Champy, 1993). Les principales études à ce niveau de planification tactique consistent en :

- la détermination du nombre des entités physiques de la chaîne logistique ainsi que le rôle de chaque entité la composant (stockage, production, distribution, etc.) (Pirard, 2005),
- la localisation et la détermination des capacités des entités physiques de distribution, de production et de stockage (Terzia et Cavalieri, 2004),
- le routage des flux de matières à travers le réseau logistique (Goetschalckx *et al.*, 2002),
- le choix des technologies d'aide à la décision et le système d'information associé (Steger-Jensen et Svensson, 2004),
- le choix des technologies permettant la communication de l'information dans les entités et entre les entités (Selk *et al.*, 2006),

afin de définir une infrastructure la plus compétitive possible face aux enjeux de son marché.

Le concept de SCM à un niveau long terme consiste également à définir les aspects partenariaux entretenus par les différentes entités de la chaîne logistique. De nombreuses études ont ainsi été menées pour modéliser l'impact de différentes relations entretenues par les entités (Handfield et Bechtel, 2002). Assurément, ces études concluent que la relation de confiance pour l'obtention d'un fonctionnement est optimale (Hanfield et Bechtel, 2002), (Christopher, 1999). Les variables de décision de ces études sont entre autre l'internalisation ou l'externalisation d'actifs spécifiques et l'identification de ressources humaines collaborantes.

Enfin, la dernière famille de problèmes définis par Stadler au niveau stratégique, consiste en la définition des processus logistiques utilisés pour le fonctionnement de la chaîne logistique. Concrètement, cela consiste à définir quel sera le mode de fonctionnement de la chaîne logistique parmi les modes classiques que sont le mode

PULL, le mode PUSH et les modes intermédiaires (Bowersox *et al.*, 1999). Assurément très peu de systèmes fonctionnent en appliquant sur l'ensemble de la chaîne le même mode. Concrètement, il s'agit de déterminer le lieu de prise en compte de la commande dans le cycle de production d'un produit. Ce lieu appelé, point de découplage (Hoekstra et Romme, 1992), sépare la partie de la Supply Chain qui travaille sur commande de la partie de la Supply Chain qui travaille sur stock ou à partir de prévisions (Pirard, 2005 ; Olhager, 2003).

### 3.2.2. PLANIFICATION OPERATIONNELLE

La planification opérationnelle consiste à piloter l'approvisionnement, la production et la distribution pour atteindre les objectifs fixés au niveau tactique. Il s'agit donc d'un niveau de planification décentralisée qui détermine l'ordre dans lequel chaque activité doit être réalisée dans le cadre de décisions fixées au niveau tactique (Génin *et al.*, 2001). La planification opérationnelle est réalisée au moyen deancements d'ordre de fabrication (produits finis, composants) et de livraison (matières premières, produits finis, etc.). La littérature concernant la modélisation et la résolution de ces problèmes est également très riche et basée essentiellement sur l'optimisation de modèles de référence dont les plus connus sont pour la partie ordonnancement le flowshop, le jobshop, le RCPSP (Resource Constrained Project Scheduling Problem) et le HSP (Hoist Scheduling Problem). Le lecteur peut se référer aux travaux de (Grangeon, 2001), (Manier, 2003) et (Kemmoé, 2007). Une autre partie de la littérature se focalise sur des problèmes de transport. Les modèles les plus connus sont les suivants : TSP (Traveling Salesman Problem), VRP (Vehicule Routing Problem), CARP (Capacitated Arc Routing Problem) et PDP (Pickup and Delivery Problem). Les lecteurs peuvent se référer aux travaux de (Laporte, 1992 (a) et (b)).

## 3.3. LA PLANIFICATION TACTIQUE, ENJEU MAJEUR DU SCM

### 3.3.1. INTRODUCTION : LA PLANIFICATION TACTIQUE : MAILLON ESSENTIEL DE LA PERFORMANCE

Il semble de par les descriptions précédentes que la performance des chaînes logistiques dépend assurément des trois niveaux de planification. Néanmoins, les gains ou pertes de performance ne sont pas générés par ces niveaux de manière identique. Le niveau stratégique, en définissant la structure de la chaîne logistique et les modes de collaboration et de fonctionnement, délimite la performance globale espérée de la chaîne logistique sur un horizon long terme. Les travaux mentionnés précédemment ont alors pour but de maximiser les limites de la performance espérée. Ces dernières sont définies sur un horizon long terme et ne pourront être que très partiellement modifiées.

Le rôle des planifications tactique et opérationnelle est donc d'assurer une performance maximum dans le cadre défini précédemment. L'approche hiérarchisée des problèmes de planification suppose donc que la performance générée par la planification opérationnelle sera, pour les mêmes raisons, limitée par les limites de performance du niveau tactique. La performance d'une chaîne logistique sur un horizon moyen terme dépend donc en grande partie de la planification tactique (Van Landeghem et Vanmaele, 2002). En effet, le nombre de variables d'action et la liberté quant à leur détermination font de la planification tactique un maillon essentiel de la performance de la chaîne logistique.

### 3.3.2. LA PLANIFICATION TACTIQUE : UNE APPROCHE HIERARCHISEE

L'approche hiérarchisée de la planification proposée par (Vollman, 1997) décompose la planification tactique en trois niveaux :

- le plan industriel et commercial (PIC),
- le plan directeur de production (PDP),
- le plan de besoins matières (PBM).

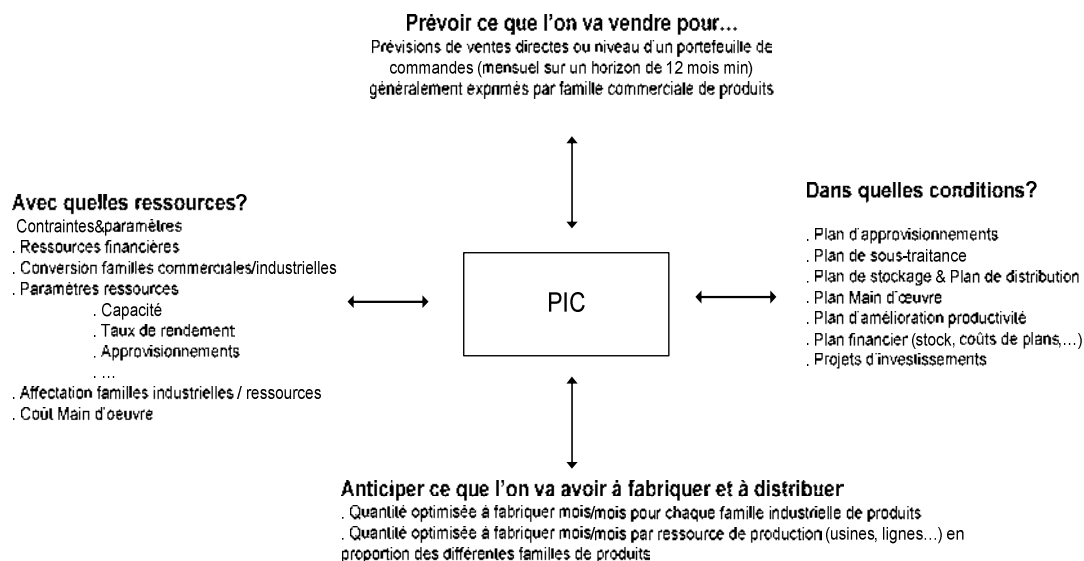
Communément, le PIC est perçu comme un outil de planification permettant aux dirigeants d'une entreprise d'estimer sur un horizon moyen terme de 12 à 18 mois la future adéquation charge/capacité. Il est à noter que la définition des horizons, des mailles de ces niveaux de processus diffèrent grandement entre chaque domaine industriel. Ainsi au niveau de sa localisation, (Génin, 2001) situe le PIC entre les niveaux stratégique et tactique du processus de planification d'une entreprise. Pour (Thomas, 2003), « le PIC c'est déterminer les quantités globales par familles de produits à fabriquer [...] à partir des capacités financières et d'investissement, de la demande du marché, des objectifs de vente de l'entreprise, des niveaux de stock souhaités et des capacités de production ». Cette vision du PIC comme un outil de planification devant livrer des prévisions de charge est partagée par (Olhager, 2001) qui le définit comme « Sales and Operations planning (S&OP) is the long term planning of production levels relative to sales within the framework of a manufacturing planning and control system » ainsi que par (Rota, 1998) qui définit le PIC comme consistant « à définir le niveau global des sorties de fabrication ».



Toutes ces définitions convergent vers l'idée que le PIC sert donc à déterminer la charge industrielle à venir en tenant compte des prévisions de vente dans un contexte industriel. Il est à signaler que, (Giard, 1998) ne mentionne pas le terme de plan industriel et commercial au niveau de son processus de planification. Il présente un lien direct entre le plan long terme (PLT) et le plan directeur de production.

Certains auteurs ne limitent pas leur perception du PIC à l'estimation d'une adéquation charge/capacité. Ils donnent à cet outil une dimension de collaboration entre les divers univers de l'entreprise. (Womack *et al.*, 1992) offre ainsi ce cadre décisionnel du PIC (figure 1-8). Ce dernier décrit le PIC comme un outil exigeant la concertation des deux mondes, la production et le domaine commercial afin d'anticiper au mieux l'inadéquation charge/capacité. Cette dimension de collaboration est encore plus présente chez (Marty, 1997) qui définit le PIC comme « ...l'expression d'une concertation entre les directions techniques, commerciales et financières de l'entreprise. Il permet d'évaluer l'activité à venir, les volumes à produire, le CA et les niveaux de stock ». (Marty, 1997) considère donc le PIC comme un processus de décision à la frontière des objectifs du plan long terme. Pour lui, cet outil sert non seulement à déterminer la charge future de production mais aussi des objectifs d'un niveau stratégique comme le CA ou les niveaux de stock.

Cette distinction demeure mineure et il est possible de conclure que l'enjeu du PIC est finalement d'assurer une adéquation charge/capacité sur un horizon moyen terme soit en modifiant la charge, soit en modifiant la capacité, soit en ayant recours au stockage. Les variables de décisions sont les quantités globales de produits fabriqués par période et par ressource. Ces dernières permettent par ailleurs de définir des niveaux de stock utiles pour la réponse client sur les périodes suivantes. Ces quantités de production sont néanmoins limitées par la capacité des ressources qui est définie par l'emploi ou non d'intérimaires, de sous traitants, d'heures supplémentaires, de postes supplémentaires ou encore de location de machines. Enfin, les dernières variables de décision du PIC consistent à déterminer la charge c'est-à-dire les prévisions ou les objectifs de vente. Il est par ailleurs important de souligner que malgré l'utilisation d'une planification à horizon glissant remettant en cause les décisions, certaines décisions prises à un instant par le PIC engagent définitivement l'entreprise. Une partie des décisions est donc mise en place sans le recours à un plan de planification plus fin (PDP, ordonnancement) et engagent donc directement des coûts.



**Figure 1-8. Cadre décisionnel du PIC (Womack *et al.*, 1992).**

A un niveau inférieur, le plan directeur de production est établi en moyenne chaque mois sur un horizon avoisinant les 3 à 6 mois. Le but de ce plan de production est de déterminer les quantités qui devront être fabriquées pour chaque période de l'horizon (la journée) par chaque usine. Plus précisément et suivant les spécificités du système industriel, les quantités fabriquées sont déterminées pour chaque ressource de l'usine considérée comme critique. Pour (Courtois, 2003), le PDP est similaire « à un contrat qui définit de façon précise l'échéancier des quantités à produire pour chaque produit fini ». Il en définit même les principales fonctions :

- il dirige le calcul des besoins-matières : en donnant les ordres de fabrication pour les produits finis, il induit le calcul des besoins-matières au travers des nomenclatures,
- il concrétise le PIC puisqu'il traduit chaque famille en produits finis,
- il permet de suivre les ventes réelles en comparant les commandes reçues avec les prévisions,

- il met à disposition du service commercial le disponible à vendre qui est un outil donnant le nombre de produits finis disponibles à la vente sans remettre en cause le PDP prévu et donc sans déstabiliser la production,
- il permet enfin de mesurer l'évolution du stock.

Le PDP se différencie du PIC de par une granularité de modélisation plus fine. En effet, sur le plan temporel, les périodes et l'horizon de planification considérés sont plus petits. Concernant la modélisation du système physique, les produits sont planifiés en considérant les produits réels ou des produits directeur et la capacité usine est exprimée en ressources critiques et non plus globalement. Au-delà de cela, de manière à respecter le cadre hiérarchique de planification, les variables de décision sont restreintes à la quantité fabriquée par période (heures supplémentaires et intérimaires à la rigueur).

L'objectif premier du PDP est donc d'assurer la livraison des commandes clients à temps dans un délai concurrentiel, le second étant l'utilisation optimale des ressources. Il a de plus la particularité de fournir un premier engagement client en évaluant le disponible à promettre. Il joue donc un rôle majeur dans le fonctionnement d'un système de planification intégrée et de contrôle de la production et des stocks, puisqu'il établit à chaque période l'équilibre entre ressources de l'entreprise et demandes à satisfaire. Ainsi (Tchernev, 2003) précise : « Le PDP se trouve au cœur des tensions engendrées par les perturbations susceptibles de survenir dans l'entreprise, tels les retards de production ou dans son environnement, telles les modifications de la demande ».

Néanmoins, le PDP ne traite en tant que tel que la planification en produit fini. Une logique MRP (Material Requirement Planning) lui est donc souvent associée de manière à planifier, sur le même horizon, le déstockage ou la fabrication des composants en remontant les besoins au moyen de nomenclatures. Il est possible de noter la limite de cette technique pour les industries de process et les industries à gammes multiples (David, 2003).

Ainsi pour (Nollet, 1994), la planification des besoins-matières (PBM ou MRP) se situe à l'interface de la planification détaillée des opérations et de l'ordonnancement : « Son rôle est de déterminer les quantités et les dates de fabrication, d'assemblage des articles à demande dépendante, c'est à dire des matières premières et des composants, afin de produire à temps des quantités prévues dans le programme directeur de production. Elle assure la coordination entre ce que l'entreprise s'est engagée à livrer sur le marché et la mise en branle des opérations de production devant être réalisées pour pouvoir terminer les commandes à temps. » Outre la planification, le MRP sert également de système de contrôle : en effet, on peut assurer le suivi des étapes, des détails et remédier à tout écart défavorable jugé important pouvant remettre en cause et modifier le PDP. Il permet aussi de « diriger » les ressources ; en effet, une fois les quantités et les dates de fabrication et de commandes connues, il est alors possible de passer à l'étape d'ordonnancement.

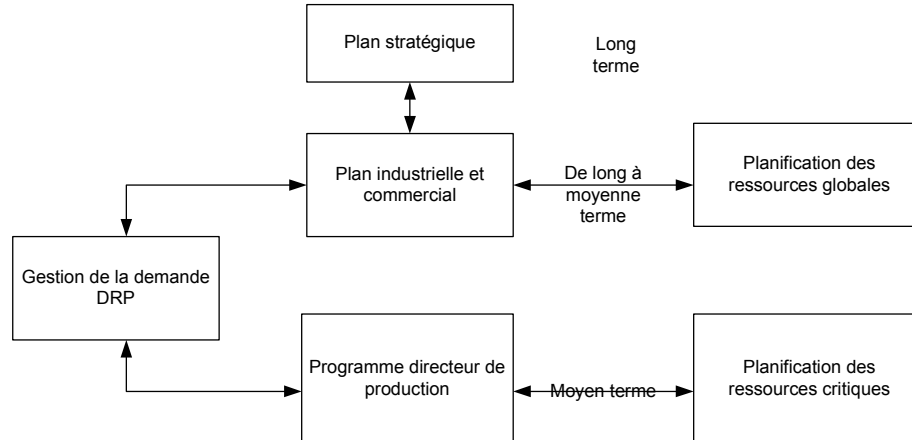
### 3.3.3. LA PLANIFICATION MULTI SITE

La décomposition hiérarchique précédente se limite à une description mono site de la planification tactique. Au niveau d'une chaîne logistique, la planification tactique tente à assurer une « synchronisation horizontale » de la chaîne. Au niveau du PDP, la synchronisation est alors réalisée grâce à un processus nommé DRP (Distribution Requirement Planning), dont le fonctionnement basé sur l'éclatement des nomenclatures est similaire à un MRP. Ainsi la planification des besoins de produits finis crée des besoins matières ou composants qui nécessitent des ordres de réapprovisionnement, qui eux même génèrent des demandes de produits finis aux entités amont. (Lamouri et Thomas, 2000) proposent le schéma suivant pour expliciter l'intégration du DRP à la structure de planification MRPII (figure 1-9).

La limite de cet outil réside dans le fait que l'intégration horizontale est forcément limitée à quelques entités de la chaîne logistique. En effet, dans le cas de besoins clients exprimés à court terme (ce qui distingue le PDP et le PIC), la remontée des besoins aux entités amont va soit générer des besoins antérieurs à la date du jour (cas de désynchronisation et donc cas de rupture) soit être absorbée par un ou plusieurs stocks en amont de la chaîne (cas où la commande sera satisfaite). Génin rappelle les limites de ce système qui aboutit parfois à une désynchronisation des plans de production comme l'a souligné (Crama, 2001). Ainsi, l'application d'un DRP au niveau inférieur de la planification tactique reste limitée à un usage court terme. Il est en effet nécessaire d'assurer une synchronisation horizontale déjà au niveau du PIC pour prévoir une adéquation charge/capacité sur l'ensemble des sites ainsi qu'une synchronisation de ces derniers. Ainsi, la problématique du PIC est étendue à l'ensemble de la chaîne sous le nom de master planning. (Stadler, 2005) définit ainsi le master planning comme « not only balances demand forecasts with available capacities but also assigns demands (production amounts) to sites in order to avoid bottlenecks. Due to the medium-term planning horizon it is often possible to adjust available capacities to a certain extent (e.g. by overtime) ».

La synchronisation est réalisée en considérant le besoin matière et les composants générés par l'éclatement des nomenclatures produits au niveau de chaque unité amont. Ceci définit alors un problème de planification tactique beaucoup plus complexe qui consiste non seulement à générer des plans de production des entités mais à assurer

leur synchronisation. Ces modèles sont donc dits multi niveau. La synchronisation sera alors assurée en considérant l'équilibre des stocks qui lient chaque entité de la chaîne.



**Figure 1-9. L'intégration de la Gestion de la demande (DRP) à la structure de planification MRP II (Lamouri et Thomas, 2000).**

Comme précédemment mentionnée, l'appréhension des problèmes de planification multi niveau peut être réalisée en supposant deux approches :

- Une approche centralisée
- Une approche décentralisée

L'approche centralisée suppose que quelle que soit la nature des liens entre les entités composantes la chaîne logistique, il est possible de considérer un supply chain manager maître qui possède l'ensemble des informations et des pouvoirs lui permettant de générer une planification synchronisée de l'ensemble de la chaîne. Bien entendu, cette hypothèse suppose que la collaboration est totale entre toutes les entités de la chaîne logistique. C'est pourquoi, comme mentionné au chapitre 1, le recours à cette hypothèse n'est pas discuté pour les chaînes logistiques internes où l'existence d'un supply chain manager central est plausible voir réel. Elle l'est par contre beaucoup plus pour les chaînes logistiques externes.

Ainsi pour ces dernières, une majorité de la littérature suppose que l'approche centralisée n'a pas de sens et donc suppose une approche décentralisée où les acteurs de la chaîne logistique partagent une certaine quantité d'information mais génèrent leur planning isolément. (Fénies, 2006) propose de synthétiser les processus de la planification tactique en reprenant les travaux de (Simatupang, et Sridharan, 2002) basés sur la notion de Collaborative Planning Forecasting and Replenishment. De nombreux travaux ont été effectués pour comparer ces deux approches. (Thierry, 1994) démontre sur un cas d'étude l'intérêt de centraliser la décision pour l'obtention d'une solution optimale. L'approche centralisée permet d'obtenir de meilleures solutions que celles obtenues par une approche décentralisée. Ces conclusions poussent ainsi nombreux auteurs à étudier la pertinence du partage de l'information au cœur des chaînes logistiques pour améliorer sa performance.

Compte tenu de la problématique énoncée au chapitre 1, nous désirons travailler sur l'optimisation des master planning pour les chaînes logistiques dites à nomenclature convergente. Nous supposons donc une approche centralisée. Néanmoins, nous ne considérons pas que notre travail se limite à la planification des chaînes logistiques internes. En effet, l'approche centralisée peut sembler pour une chaîne logistique externe inconciliable avec la pluralité des acteurs et leurs objectifs propres. Néanmoins, proposer une solution de planification générée par une approche centralisée nous paraît totalement pertinente pour n'importe quelle type de chaîne logistique du moment où cette dernière est appliquée dans un processus d'aide à la décision et non de pilotage.

#### 3.3.4. SYNTHÈSE CONCERNANT LES PLANS DE PLANIFICATION TACTIQUE

Les paragraphes précédents ont présentés succinctement la planification tactique et ces enjeux. Pour synthétiser, deux niveaux ont été définis : un premier nommé PIC ou master planning a pour but compte tenu d'une maille assez grossière de planifier une adéquation charge/capacité sur un horizon moyen terme. Ses leviers d'action sont nombreux (intérimaires, sous traitance, heures supplémentaires, embauches, stock, allocation sur les usines, redéfinition de la demande acceptée, etc.). Le second niveau, nommé PDP/MRP consiste à planifier plus

finement la production en déterminant des quantités de produits à fabriquer par période sur des ressources critiques de chaque usine en estimant le disponible à promettre, etc.

La compréhension des deux problèmes de planification permet de constater que malgré leurs différences, leur mise en œuvre est basée sur la même architecture de modèle. Un problème de planification peut donc être formulé de la manière suivante :

**Objectif :**

L'objectif de la planification est de déterminer sur un horizon moyen terme des quantités de produits ou de famille de produits de telle façon à optimiser une fonction objectif.

Cette dernière, selon les cas d'étude, exprime un compromis entre les coûts de production, de lancement, de stockage. Lorsque le retard client n'est pas toléré, la planification consiste dans un premier temps à trouver une solution répondant à cette exigence, dans le cas contraire, un coût de retard est ajouté à la détermination du compromis. Dans le cas du PIC, la fonction objectif prend également compte de coûts liés à l'embauche, aux licenciements ou à la sous-traitance.

**Données :**

Les données d'entrée du modèle sont :

- la durée de l'horizon de planification,
- la demande client par produit ou par famille de produits.

**Paramètres :**

Les paramètres pris en compte sont le plus souvent :

- le coût unitaire de stockage,
- le coût unitaire de production,
- le coût unitaire de lancement d'une campagne de production,
- la capacité de production du système,
- la capacité de production nécessaire pour la fabrication d'un produit,
- la capacité nécessaire pour effectuer un lancement de production.

Pour le PIC, les coûts d'embauche, de licenciement et de sous-traitance peuvent être ajoutés.

**Variables :**

Elles représentent :

- les quantités produites,
- la demande satisfaite,
- les quantités de demandes satisfaites,
- les quantités en stock,
- les débuts de campagne (afin d'imputer les coûts de lancement de campagne),
- le recours à la sous-traitance.

Au vu de cette description, il est possible de constater que les problèmes de planification mettent en jeu des problèmes de modélisation du système physique de production et de gestion de la demande. En effet, les systèmes de production étant complexes, il est impossible notamment sur un horizon moyen terme de considérer l'ensemble des produits et de modéliser très finement le système de production. Ainsi, le PIC et le PDP ne sont pas élaborés suivant la même maille temporelle et suivant la même maille physique. Il est donc nécessaire pour élaborer une planification tactique d'élaborer des modèles de ces systèmes définis par rapport à une finesse choisie (granularité) de modélisation du système physique (ressources globales ou critiques) mais aussi par rapport à une finesse choisie de la gestion de la demande (familles de produits, demande constante ou variable, etc.).

De la génération de ces plans de production dépend la performance de la chaîne logistique dans son ensemble. Il est facilement compréhensible qu'une mauvaise planification se traduisant par une sur capacité, un surstockage ou un retard dans la satisfaction client va fortement dégrader la performance de la chaîne logistique et de tous ces acteurs. La génération de « plans optimaux » ou tout du moins « performants » est donc un enjeu majeur de la planification tactique des chaînes logistiques. La communauté scientifique est donc confrontée à un double problème : celui de la modélisation et celui de l'optimisation des modèles proposés. De nombreuses méthodes sont employées pour tenter de résoudre ces problèmes, celles-ci vont des méthodes industrielles basées sur des heuristiques de type méthode graphique à l'emploi de méthodes basées sur la programmation linéaire préconisées par les logiciels de type « APS ». La difficulté dans la résolution des modèles de bases proposés limite alors la finesse et la taille des modèles de planification générés. Ceci soulève de fait des questions sur la pertinence de la modélisation et des agrégations effectuées.

### 3.3.5. LA PLANIFICATION TACTIQUE DES FLUX FINANCIERS

La majorité des modèles de planification utilise une fonction d'évaluation basée sur une estimation des coûts du flux physique. Ainsi les coûts de production, de lancement, de stockage, de pénurie ou de commandes en retard constituent ces principaux critères. Leur but étant de transcrire le compromis entre la maximisation de la satisfaction de la demande et les contraintes de production. Néanmoins, si la planification tactique impacte la performance de la chaîne logistique par le biais du flux physique, elle conditionne alors fortement la planification des flux financiers. En effet, au processus de planification tactique correspond un processus de budgétisation monétaire qui peut être considéré comme son pendant. Néanmoins, à la lecture de la littérature concernant la planification tactique, le processus de budgétisation reste fort peu étudié alors même que ce dernier est la traduction financière et réelle de la performance de la chaîne logistique.

Dans une firme, la planification à horizon tactique du flux financier est traditionnellement réalisée sous forme de budgets (Anthony, 1988). Cette planification consiste à évaluer différents scénarii de gestion et à valoriser les différents plans tactiques. Le budget est un outil fondamental pour le management d'une firme, il permet la gestion prévisionnelle de l'entreprise pour anticiper par un raisonnement financier le futur de cette dernière. Il permet par ailleurs le pilotage des organisations en offrant une évaluation constante des écarts entre la situation courante et la situation désirée. Il est ainsi utilisé comme un outil de fixation d'objectifs qui engage les responsables des entités vis-à-vis de leur hiérarchie. Pour (Bouquin, 2001), le budget constitue alors autant un outil d'orientation des comportements (fixation d'objectif) qu'un outil d'aide à la décision. Ainsi à chaque plan de planification défini par la matrice de Stadler correspond un budget financier.

L'intérêt managérial de coupler flux physique et flux financier est réel. En effet, (Vickery *et al.*, 2003) soulignent la pertinence de manager par les critères financiers. Or actuellement, le processus de budgétisation est réalisé après le processus de planification en prenant comme variables d'entrée les variables de sortie du processus de planification. Son rôle est alors de traduire ce dernier en paramètres financiers. Or, un budget n'est ni plus ni moins qu'une synthèse des produits, essentiellement les ventes générées par la satisfaction de la demande client, et les charges, essentiellement la consommation de ressources générée par le flux physique, autrement dits les coûts générés. Le lien entre ces deux flux, physiques et financiers, paraît évident et logique.

Au-delà de l'estimation de la valeur créée (vue budgétaire), il est nécessaire sur un horizon moyen terme d'évaluer les variations de trésorerie afin d'anticiper les périodes de trésorerie négative qui peuvent entraîner une cessation de paiement et les périodes de trésorerie positive qui méritent d'être optimisées par un processus de cash management (Badell *et al.* ; 2005). Les variations entre les encaissements et les décaissements du flux de trésorerie d'une firme faisant partie d'une chaîne logistique sont en effet générées par le flux physique : les sorties d'argent correspondent aux sorties liées avec les commandes fournisseurs, tandis que les entrées correspondent directement aux livraisons clients. Un paramètre important dans l'évaluation des flux de trésorerie est la prise en compte des délais de paiement et d'encaissement. Communément, la date de livraison d'un produit, ou de réalisation d'une prestation est une date importante d'un point de vue gestion opérationnelle de trésorerie car c'est à partir de cette date, matérialisée par une facture, que commence à courir le délai de paiement accordé. Il existe des encaissements et des décaissements « fixes » sur lesquels le gestionnaire de trésorerie n'a aucune prise (remboursements d'emprunts, salaires, etc.). Par contre le délai de paiement accordé à un client ou accordé par un fournisseur va impacter de manière sensible la position de trésorerie de la firme.

Ainsi à moyen terme, le fait de choisir de favoriser un client plutôt qu'un autre peut impacter la trésorerie de manière mécanique avec un décalage fonction du délai de paiement. Ces derniers sont très souvent différenciés suivant les types de clients, le domaine d'activité et le pays.

La planification des flux financiers est régie de longue date dans les entreprises par le modèle de Miller et Orr (Miller et Orr, 1966). Géré de manière opérationnelle, l'argent d'une firme est un facteur clé de succès évident pour cette dernière. L'objectif du gestionnaire de trésorerie est de couvrir jour après jour les dépenses sans toutefois dégager un excédent trop important car l'argent n'est pas un actif productif. En gardant trop d'argent sur ses comptes, une firme perd les intérêts (coût d'opportunité) de placer ce surplus sur des actifs rémunérés. Inversement, en dépassant régulièrement les plafonds de trésorerie autorisés par les banques, le gestionnaire de trésorerie peut risquer de mettre son entreprise dans une situation délicate. Cela implique qu'une firme doit maintenir un équilibre entre l'argent non productif maintenu sur ses comptes avec celui investi sur des placements à court ou moyen terme.

Dès lors, il semble intéressant et tout à fait pertinent de tenter d'intégrer le processus de budgétisation au processus de planification afin de définir un seul processus qui générerait la planification à la fois sur des critères physiques (taux de satisfaction client) mais également sur des critères financiers (création de la valeur).

Or, la conception d'un budget est effectuée par une évaluation des ventes et des consommations de ressources. L'évaluation des prévisions de ventes est assez aisée et facilement liable au flux physique. Elle est en fait la

traduction financière des quantités vendues par un prix de vente. Ceci n'est pas le cas de l'évaluation des consommations. Si l'on considère les charges directes, leur lien avec le flux physique est trivial. Par contre le mécanisme devient complexe si on considère l'impact du flux physique sur les charges indirectes. Or, la pertinence du lien entre flux physique et financier réside dans cette évaluation de la consommation des charges indirectes.

Enfin en contexte de chaîne logistique, la firme est organisée sous forme de business unit (BU) et les flux de biens et services sont valorisés sous forme de prix de cession entre les entités de la même chaîne logistique (Goetschalckx *et al.*, 2002). Lorsque l'on dépasse les frontières de l'organisation le flux de biens et services se trouvent valorisés sous la forme d'un prix négocié durablement. On peut se poser légitimement la question de la différence entre un prix de cession, négocié à moyen terme entre entités d'un même groupe (Bouquin, 2004) et un prix négocié entre partenaires industriels en contexte de Supply Chain Management. En effet, le caractère durable de la relation de chaîne logistique fixe la valorisation des activités entre partenaires suivant un horizon comparable à celui du prix de cession négocié entre les entités d'une même firme. Il y a peu de différences entre une firme organisée en business units et traversée par un processus logistique dont les activités sont valorisées par des prix de cession et une chaîne logistique coordonnée par une firme pivot et des entités externes dont les prix sont négociés durablement. Un des écarts entre les deux types de structures organisationnelles (interne et externe), d'un point de vue structure des budgets, se trouve dans la manière de consolider les données dans les budgets et dans le partage de l'information financière. Considérer la création de la valeur au sein d'une chaîne logistique soulève le problème inhérent du partage de la valeur entre les entités. Cette dernière prend tout son sens au niveau d'une chaîne logistique externe où le partage de la valeur est la condition sine qua none à l'existence même de la chaîne logistique. En effet, une collaboration entre entités de firmes différentes ne peut être envisageable que si chaque entité se voit assurer un minimum de valeur. De nombreux travaux traitent de la collaboration au sein des chaînes logistiques (Dudek et Stadtler, 2005) et (Holweg *et al.*, 2005), mais les études concernant le partage de la valeur abordant une approche financière et non les coûts.

Ainsi la description des mécanismes liant flux physiques et flux financiers, nous amène à considérer qu'il semble intéressant d'étudier le partage de la valeur au sein d'une chaîne logistique au moyen du mécanisme de fixation des prix de cession. En effet, en considérant la chaîne logistique dans son ensemble, la valeur dégagée de cette dernière dépend des ventes et des achats qu'elle entretient avec les entités extérieures à la chaîne mais également de la façon dont est réalisée la production. En supposant donc une création de valeur connue pour une chaîne logistique, il semble alors tout à fait pertinent d'étudier la fixation des prix de cession entre entités de la même chaîne logistique pour répartir la valeur créée.

### 3.3.6. SYNTHESE

Les sections précédentes ont présenté les enjeux majeurs de la planification tactique des flux physiques et financiers. L'objectif de ces deux processus est d'améliorer ou d'assurer tout au moins une performance minimale à l'ensemble de la chaîne logistique. Actuellement, ces deux processus sont chaînés de telle sorte que la planification tactique des flux physiques ne prend pas en compte les contraintes et les critères financiers. En effet, il a pour but, en ce qui concerne la planification tactique de type PIC ou master planning, d'anticiper les désynchronisations entre les demandes clients et les capacités du système en prenant un ensemble de décision concernant le recours au stockage, à la redéfinition des ventes mais également concernant le recours aux intérimaires ou aux sous-traitants. Son élaboration est alors souvent réalisée de manière à minimiser les coûts logistiques générés tout en maximisant la satisfaction de commandes clients espérée. Le plan directeur de production se distingue par son aspect beaucoup plus opérationnel puisqu'il génère directement les quantités qui seront produites à court terme et évalue le disponible à promettre aux clients.

La planification tactique définit donc concrètement les quantités de produits qui seront vendues aux clients et également à grosse maille la « façon » dont les produits vont être réalisés et acheminés. Elle a donc un fort impact sur la valeur dégagée par une firme qui pour simplifier correspond à la différence entre les produits et les charges d'un point de vue budgétaire ou encore la différence entre les recettes dégagées et la consommation de ressources d'un point de vue purement financier. Il semble alors pertinent de tenter de lier directement la planification des flux physiques au flux financiers au sein d'un même processus.

### 3.4. LA GESTION DE STOCK, MAILLON ESSENTIEL DE LA PERFORMANCE - ETUDE D'UN MODE DE GESTION A DEMANDE DIFFERENCIEE

#### 3.4.1. INTRODUCTION

Ce mémoire se focalise sur l'étude des problèmes de niveau tactique au sein de la chaîne logistique. Comme mentionné précédemment, les problèmes de niveau tactique pour la gestion des chaînes logistiques ne se limitent pas aux problèmes de planification. D'autres décisions comme la définition de règles de gestion, de files d'attente ou de stock sont prises sur un horizon moyen terme afin d'assurer la performance du flux physique au travers de la chaîne logistique. Parmi les domaines les plus largement étudiés au niveau du SCM, celui de la gestion de stock est sans conteste un domaine phare. En effet, la notion de stock au sein des chaînes logistiques ou autres systèmes industriels est un élément principal qui focalise l'attention des managers. Il est connu de chacun que le stock est par nature, inhérent au bon fonctionnement de tous systèmes industriels et que si l'objectif du manager est de réduire l'excès de stock au cœur de son système industriel, il ne consiste en aucun cas à les supprimer totalement.

A notre connaissance, la littérature concernant la gestion de stock se focalise essentiellement sur des problèmes d'ordre tactique et opérationnel dont le but est de déterminer pour un système industriel donné un mode de gestion de stock et de paramétrer ce dernier de « manière optimale » sur un horizon moyen terme. En effet, les problèmes stratégiques imputables au domaine de la gestion de stock et qui consistent à déterminer la location optimale des entrepôts au cœur de la chaîne logistique sont assimilables aux problèmes de conception de réseaux logistiques en SCM. La majorité des papiers se référant au domaine de la gestion de stock propose de déterminer, compte tenu d'un système, quelle politique de gestion de stock semble optimale pour ce système. La distinction entre niveau opérationnel et tactique est alors floue. En effet, le mode de gestion déterminé va être opérationnellement appliqué au jour le jour mais son dimensionnement n'est remis en cause que périodiquement sur des périodes assez longues. C'est pourquoi nous ne distinguons pas deux niveaux de problème mais considérons un seul type de problème qui est la définition et le dimensionnement d'un mode de gestion qui peut être revu par les managers plus ou moins rapidement.

Comme mentionné précédemment, cette littérature traite de l'attribution d'un mode de gestion de stock et de son dimensionnement pour un système industriel. Les modèles de base considérés sont architecturés de la manière suivante:

- un ensemble de lieu de stockage,
- un ensemble de clients,
- un ensemble de produits.

Les entrepôts ont alors pour but de satisfaire la demande des clients. Néanmoins, le réseau d'entrepôts peut être plus ou moins complexe. Deux types de réseaux de modèles sont définis : les modèles mono niveau et les modèles multi niveau. Ces derniers se distinguent par le fait que l'approvisionnement des entrepôts par d'autres entrepôts ou usines est considéré.

Le but de la gestion de stock est de déterminer et de dimensionner un ou plusieurs modèles de gestion de stock à l'ensemble des entrepôts de manière à optimiser les coûts liés au stockage, aux livraisons, et à la pénurie. Le modèle reconnu comme modèle de référence est le modèle de Wilson. Ce dernier considère un modèle dont les hypothèses principales sont les suivantes :

- une demande constante et connue avec certitude du produit considéré,
- la livraison des quantités demandées est immédiate,
- le coût de commande est constant,
- le coût d'acquisition est constant,
- le coût unitaire de stockage est linéaire,
- aucune pénurie n'est admise,
- l'horizon de planification est considéré infini.

A partir de ces hypothèses, la formule de Wilson détermine alors la quantité optimale à commander qui minimise les coûts de stockage et de lancement. La littérature concernant la gestion de stock peut être classifiée suivant de nombreux critères, les principaux sont les suivants :

- système mono ou multi niveau,
- système mono ou multi produit,
- la prise en compte de données stochastiques ou non (demande, livraison, etc.).

Pour répondre de manière satisfaisante aux challenges posés par les modèles précédemment exposés, plusieurs modes de gestion de stock sont proposés dans la littérature et implantés dans le contexte industriel. Ces modes de gestion se distinguent suivant :

- le suivi des niveaux de stock et le mode de réapprovisionnement (continu ou périodique),
- le mode de détermination des quantités commandées.

Concernant les modes de gestion à suivi continu, les stocks sont gérés en temps réel ou à chaque mouvement de stock (entrée ou sortie), la décision du lancement de commande est alors effectuée lorsque le niveau des stocks est en dessous d'un certain seuil. Pour les modes de gestion à suivi périodique, la décision de lancer une commande est effectuée périodiquement (à intervalles de temps régulier) en fonction du niveau des stocks.

Au niveau des quantités à commander, certains systèmes consistent à commander soit une quantité fixe (basée le plus souvent sur la quantité de Wilson), soit une quantité permettant de remonter à un certain niveau de stock ou soit une quantité variable quelconque.

Ainsi les principaux systèmes de gestion de stock sont les suivants (Giard, 1988):

- Réapprovisionnement à date fixe et à quantité fixe
  - Dans ce mode de gestion, un ordre de réapprovisionnement est envoyé toutes les R unités de temps. La quantité commandée est fixe.
- Réapprovisionnement à date fixe et à quantité variable « Periodic Review Inventory Policy (R, S) »
  - Dans ce mode de gestion, un ordre de réapprovisionnement est envoyé toutes les R unités de temps. La quantité commandée est variable et est calculée afin d'atteindre un niveau de stock S.
- Réapprovisionnement à date fixe et à quantité variable basé sur un niveau de seuil « (R, s, S) »
  - Dans ce mode de gestion, un ordre de réapprovisionnement est envoyé toutes les R unités de temps. Une quantité est commandée seulement si le niveau est en dessous du niveau s. La quantité est calculée afin d'atteindre un niveau de stock S.
- Réapprovisionnement à date variable et à quantité fixe « Continuous review inventory policy (s, Q) »
  - Le niveau de stocks est suivi continuellement. Une quantité fixe est envoyée lorsque le niveau est en dessous du niveau s.
- Réapprovisionnement à date variable et à niveau de stock "Order up to level (s, S)"
  - Le niveau de stocks est suivi continuellement. Une quantité permettant d'atteindre un niveau s est envoyée lorsque le niveau est en dessous du niveau s.
- Réapprovisionnement instantané « (S-1, S) »
  - Un ordre de réapprovisionnement est envoyé à chaque fois qu'une unité de stock est consommée.

L'ensemble de la littérature se concentre ainsi sur l'étude de ces systèmes, et a pour objectif de proposer des politiques de gestion optimale en tenant compte d'hypothèses telles que les phénomènes stochastiques pour la demande, la réponse usine et le délai de livraison, ou encore de la structure à gérer système, mono ou multi niveau. Des ouvrages tels que celui de (Giard, 1988) permettent d'appréhender les problématiques de gestion de stock et notamment des spécificités des différents systèmes. Ce dernier propose une analyse des systèmes à révision continue et périodique. Les politiques de révision périodique permettent l'optimisation de commandes groupées et conviennent parfaitement aux demandes saisonnières. Les politiques à révision continue proposent quant à elles une gestion moins coûteuse que les politiques à révision périodique si on considère des coûts de commande identiques. Enfin, il conclut sur le fait que lorsque la période de scrutation est assez voisine de celle réalisée dans un mode continu, alors l'écart entre les deux politiques est très limité.

Néanmoins, même si ces derniers fournissent une solution satisfaisante, il demeure des systèmes dits « réactifs ». Ainsi les systèmes réactifs sont opposés aux systèmes dits proactifs basés sur des prévisions de consommation. En effet, des systèmes basés sur un DRP « Distribution Requirement Planning » ont émergé ces dernières décennies avec la méthodologie MRP et sont largement utilisés. (Martin, 1995) propose ainsi un ouvrage de référence sur la méthode DRP. L'avantage de cette dernière est de prévoir la consommation de stock, et donc d'anticiper les demandes de réapprovisionnement.

#### 3.4.2. PROBLEMATIQUE INDUSTRIELLE

Les modes de gestion de stock précédemment présentés gèrent plusieurs produits aux caractéristiques propres. De ce fait, chaque produit est géré en fonction d'une politique adaptée à ses caractéristiques (commandes, délai de livraison, taux de service minimum, etc.). Cependant, ces modèles supposent que la demande des clients pour un même produit est identique, ce qui engendre une performance elle-même identique pour l'ensemble des



clients en termes de taux de satisfaction. Les systèmes de gestion de stock dit à demande différenciée diffèrent des systèmes précédents en tentant de dédier un taux de satisfaction à chaque client.

La problématique industrielle qui nous a été proposée s'inscrit ainsi dans ce type de problématique. Avant de présenter l'étude de ce domaine, nous présentons succinctement le cas d'étude industriel.

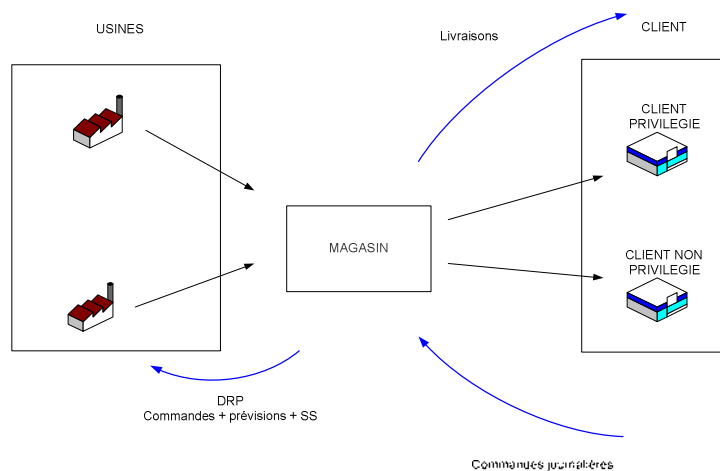
L'entreprise étudiée divise son marché mondial de clients en zones commerciales qui correspondent chacune à un pays ou un regroupement de pays. Chaque zone commerciale comporte un ou plusieurs magasins desservant ses clients. Les magasins sont approvisionnés par des usines. Pour chacune des zones, les clients passent leurs commandes à un centre de service situé dans la zone. Actuellement, la totalité des clients est satisfaite avec un TSD avoisinant les 80%. Pour des raisons stratégiques et commerciales, l'entreprise considérée désire privilégier un client en lui proposant un TSD Client de 95%.

L'étude proposée consiste donc à étudier une zone commerciale définie de la manière suivante :

- 1 entrepôt physique unique permettant la satisfaction des clients
- 2 usines assurant le réapprovisionnement de l'entrepôt
- 2 types de clients ; privilégiés (TSD 95%) et non privilégiés (TSD 80%)

Le fonctionnement actuel de réapprovisionnement de l'entrepôt est basé sur le fonctionnement d'un DRP classique prenant en compte les prévisions de consommation, un stock de sécurité déterminé suivant les erreurs de prévision réalisées sur le dernier mois, les niveaux de stock « on hand » et en transit ainsi que les commandes en retard (nommées « backlogging »). La réponse client est réalisée quotidiennement en fonction du stock « on hand ». Bien que la livraison peut être livrée plusieurs jours après, à chaque commande enregistrée est allouée une quantité en stock qui n'est plus alors considérée dans l'évaluation du stock disponible.

La figure 1-10 présente le réseau de distribution.



**Figure 1-10. Synoptique de la chaîne logistique**

La problématique soumise consiste donc à étudier dans un premier temps un panel de solutions envisageables pour la résolution de ce problème, puis dans un second temps à identifier parmi ces solutions la meilleure.

### 3.4.3. GESTION DE STOCK A DEMANDE DIFFERENCIEE

Le problème précédemment présenté est donc défini dans la littérature comme un problème de gestion à demande différenciée où l'objectif est d'assurer à  $n$  clients différents  $n$  niveaux de service.

L'étude de la littérature dédiée à ce domaine nous montre que ce problème est encore étudié de façon marginale, malgré l'intérêt croissant des industriels. En effet, (Kleijn et Dekker, 1998) mentionnent plusieurs états de l'art dédiée à la gestion de stock qui ne mentionnent même pas l'existence de ce problème (Veinott, 1966 ; Chikan, 1990 ; Lee et Nahmias, 1993).

Il est à noter qu'avant même l'émergence de cette problématique, certains domaines ont toujours été confrontés à la nécessité de proposer plusieurs taux de satisfaction clients. (Kleijn et Dekker, 1998) mentionnent ainsi le cas des chaînes logistiques multi échelon qui doivent assurer à partir d'un ou plusieurs entrepôts la livraison de clients externes ou internes. Dans ce cas, pour des raisons économiques, l'entrepôt assure dans la majorité des cas un niveau de service plus important aux clients externes qu'aux clients internes. De plus, certains domaines

tels que l'aéronautique ou l'armée assurent depuis longtemps une livraison différenciée des pièces de rechange à leurs demandeurs.

#### 3.4.4. LES TROIS SOLUTIONS PROPOSEES PAR LA LITTERATURE

Pour répondre à cette problématique, la littérature propose trois modes de gestion (Desphande, 2003) :

- La politique du stock commun basée sur le niveau de service client le plus élevé
- La politique des stocks dédiés à chaque niveau de service
- La politique de seuil de rationnement

Afin d'illustrer ces trois modes de gestion, nous supposons un système de gestion de stock à révision continue de type  $(Q, r)$ , très proche du fonctionnement d'un DRP. Nous supposons  $n$  clients nommés  $C_i$  auquel un niveau de service de client  $\beta_i$  minimum doit être assuré. Les paramètres de ce système sont les suivants :

- Le point de commande  $r$
- La quantité à commander  $Q$

Où  $r = f(\text{taux de service client, aléa (demande), aléa (approvisionnement)})$

Les trois politiques de stock peuvent donc être définies de la manière suivante :

- La politique du stock commun basée sur le niveau de service client le plus élevé  
Elle consiste à utiliser un seul stock commun pour l'ensemble des  $n$  clients. Le point de commande est donc calculé en fonction de  $\beta_{\max}$ , mais également en fonction d'une demande agrégée.
- La politique des stocks dédiés à chaque niveau de service  
Elle consiste à utiliser  $n$  stocks dédiés à chacun des  $n$  niveaux de service. Un point de commande est calculé pour chaque stock en fonction de  $\beta_i$ . Dans ce calcul, la demande n'est pas agrégée mais considérée à la maille client.
- La politique de seuil de rationnement  
Elle consiste à considérer  $n$  seuils de rationnement correspondant aux  $n$  taux de services. Le niveau de service le plus important est noté  $\beta_0$ . Le seuil correspondant à  $\beta_0$  est le niveau 0 de stock. Ainsi, le 1<sup>er</sup> seuil correspond donc au taux de service le plus faible. Cette politique consiste à ne plus satisfaire de commandes de clients «  $C_i$  » dès lors que le stock est en dessous du niveau  $\beta_i$ . Le point de commande  $r$  est calculé en fonction de la demande agrégée. Cette dernière nécessite par ailleurs de définir le mode de satisfaction des commandes en retard dans le cas où la commande de réapprovisionnement ne permet pas de couvrir l'ensemble de ces dernières. Dans la littérature (Desphande *et al.*, 2002 ; Tempeilmeier, 2006), plusieurs politiques ont été énumérées :
  - la satisfaction en priorité des commandes en attente en fonction de leur classe (des plus prioritaires au moins prioritaires),
  - la satisfaction en priorité des commandes en attente en fonction de leur durée d'attente,
  - la satisfaction en priorité de toutes les commandes en attente si leur durée dépasse un certain niveau en privilégiant toujours les commandes de haute priorité, puis satisfaction des commandes en attente depuis une durée plus faible en fonction de leur classe.

#### 3.4.5. SYNTHESE

Les sections précédentes ont présenté l'importance de la gestion de stock dans les problèmes de niveau tactique des chaînes logistiques. Cette problématique nous propose de nous focaliser sur un type de problème peu étudié dans la littérature : les problèmes de gestion de stock à demande différenciée. Pour répondre à ces problèmes, la littérature propose trois solutions, nommées successivement: solution du stock unique, solution des stocks dédiés et solution par seuil de rationnement. Le chapitre 2 propose un état de l'art sur l'étude faite de ces solutions et révèle qu'aucune étude basée sur un système fonctionnant à partir d'un DRP n'a jamais été réalisée. L'étude menée consiste donc à tester ces trois solutions sur ce système afin de définir quelle solution semble la plus performante.

## 4. CONCLUSION

Ce chapitre présente le cadre général de la gestion des chaînes logistiques et plus particulièrement des problèmes de planification tactique. Après avoir défini la notion de chaîne logistique au moyen d'une description de ces entités, de ces flux et des activités, nous présentons la notion de Supply Chain Management ou gestion de la chaîne logistique afin de montrer la diversité des domaines et des problématiques qui le composent. Compte tenu de notre problématique, nous nous focalisons par la suite sur les problématiques de niveau tactique.

Nous soulignons en effet la spécificité de ces problèmes qui offrent aux managers un large panel de décisions leur permettant d'impacter fortement la performance attendue de la chaîne logistique à des coûts très différents. Nous nous focalisons ainsi sur deux problèmes : le premier, plus académique bien que dérivant d'un problème industriel, pose la question de la planification tactique nommée master planning au sein d'une chaîne logistique, le second, provenant directement d'un cas d'étude industriel, réside dans un problème de gestion de stock au cœur d'une chaîne logistique dont la particularité est de prendre en compte une demande dite différenciée.

Concernant le problème de planification tactique, l'étude du domaine montre que la planification tactique des chaînes logistiques relève d'une double complexité algorithmique et systémique. Basée sur une logique MRP qui déploie les besoins matières et composants en amont de la chaîne logistique, la problématique master planning consiste à élaborer des plans de production et de transport coordonnés pour l'ensemble des sites de la chaîne logistique sur un horizon moyen terme. Notre première problématique se concentre donc sur la génération d'un modèle master planning permettant la planification des chaînes logistiques dites à nomenclature convergente et à la génération de méthodes d'optimisation dédiées à ce problème. Par ailleurs, une étude menée sur plus de 150 firmes américaines (Vickery *et al.*, 2003) montre que les Supply Chain managers ont besoin d'outils intégrant le flux financier pour prendre leur décision. Ceci ne signifie pas qu'actuellement les modèles et les outils d'aide à la décision sont déconnectés des critères financiers, bien au contraire puisque les critères de coûts générés par le stockage, la production, et lesancements ont pour objectif de traduire des critères financiers tels que la valeur dégagée et l'optimisation des niveaux de trésorerie. Néanmoins l'étude du domaine souligne qu'industriellement le processus de planification tactique est suivi d'un processus de budgétisation dont le but est double : premièrement évaluer la valeur dégagée par la planification tactique prévue, secondement évaluer période par période les niveaux de trésorerie de manière à optimiser le recours aux prêts, emprunts ou voire éviter la cessation de paiement. Ainsi, il nous paraît pertinent de vouloir intégrer dans un seul et même processus le processus de planification et de budgétisation afin de générer une planification tactique qui assurerait voire optimiserait les critères financiers. Notre seconde problématique concernant la planification tactique des chaînes logistiques se focalise donc sur la traduction des flux physiques en flux financiers afin de générer un outil d'aide à la décision permettant d'intégrer les deux processus. Parler de création de valeur au sein d'une chaîne logistique pose irrémédiablement la question du partage de la valeur au sein de cette chaîne logistique. La valeur totale créée par une chaîne logistique est assez simple à considérer et est traduite par la différence entre le chiffre d'affaire réalisé (ventes chiffrées en euros) et les charges ou dépenses subies sur l'horizon de planification. Une façon d'entrevoir le partage de la valeur au sein des entités constituant la chaîne logistique est donc de considérer la valeur totale dégagée par la chaîne logistique comme fixe et de jouer sur les prix de cession entre entités pour répartir la valeur dégagée. La troisième problématique que nous considérons au niveau de la planification tactique est donc un problème de partage de la valeur par fixation des prix de cession.

Concernant la problématique de gestion de stock à demande différenciée, l'étude du domaine montre que les problèmes de gestion de stock sont très largement étudiés dans la littérature. La problématique proposée se distingue des problèmes communément étudiés en proposant un problème de gestion de stock dit à demande différenciée dont le but est d'assurer à chaque type de clients une qualité de service dédiée. La littérature concernant ces problèmes est beaucoup plus restreinte, et distingue trois modes de gestion pour ce type de problème. Notre problématique consiste donc à étudier l'utilisation de ces trois modes de gestion sur le cas d'étude qui se distingue des articles de la littérature par l'emploi d'un mode de gestion de stock basé sur le fonctionnement d'un DRP.

De manière à appréhender l'existant dans l'ensemble des domaines que nous sommes amenés à traiter, nous présentons dans le chapitre 2, un état de l'art traitant successivement de(s) :

- l'appréhension de la complexité de planification tactique et ses enjeux,
- modèles de planification tactiques et les méthodes associées,
- liens entre flux financiers et flux physiques au moyen des modèles de coûts,
- réponses logicielles face aux problématiques de planification tactique des chaînes logistiques,
- études traitant de problèmes de gestion de stock à demande différenciée.



## CHAPITRE 2 : ETAT DE L'ART

<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>35</b>
<b>2. PROPOSITION D'UNE CLASSIFICATION DES MODELES DE LOT SIZING ET DES METHODES DE RESOLUTION POUR LA PLANIFICATION TACTIQUE (Comelli <i>et al</i>, 2007) (a).....</b>	<b>35</b>
2.1. INTRODUCTION.....	35
2.2. CLASSIFICATION DES MODELES DE LOT SIZING.....	36
2.3. CLSP MODELE DE REFERENCE POUR LE PLAN DIRECTEUR DE PRODUCTION.....	37
2.4. CLASSIFICATION DU CLSP.....	39
2.5. CLASSIFICATION DU CLSP-ST.....	40
2.6. MLCLSP – MODELES MULTI NIVEAU: MODELISATION DU MRP.....	45
2.7. MODELES DE LOT SIZING MULTI SITE.....	50
2.8. REMARQUES SUR LES INSTANCES.....	52
2.9. CONCLUSION.....	52
<b>3. LES PROBLEMATIQUES DE LA PLANIFICATION TACTIQUE NON LIEES A L'OPTIMISATION.....</b>	<b>53</b>
3.1. INTRODUCTION.....	53
3.2. SYNCHRONISATION VERTICALE.....	53
3.3. PRISE EN COMPTE DE L'INCERTAIN.....	55
<b>4. OUTILS ET METHODES DU SUPPLY CHAIN COSTING POUR L'EVALUATION DES PERFORMANCES .....</b>	<b>55</b>
4.1. SUPPLY CHAIN COSTING.....	56
4.2. SYNTHESE.....	60
<b>5. LES OUTILS D'AIDE A LA DECISION POUR LE SCM.....</b>	<b>63</b>
5.1. INTRODUCTION.....	63
5.2. REPONSES LOGICIELLES AU SCM.....	63
5.3. CONCLUSION.....	66
<b>6. LA GESTION DE STOCK A DEMANDE DIFFERENCIEE.....</b>	<b>67</b>
6.1. INTRODUCTION.....	67
6.2. CONTRIBUTIONS MAJEURES.....	67
6.3. COMPARAISON DES POLITIQUES DE STOCK.....	68
6.4. SYNTHESE.....	69
<b>7. CONCLUSION.....</b>	<b>70</b>
<b>8. LA METHODOLOGIE ASCI.....</b>	<b>71</b>
8.1. LE PROCESSUS DE MODELISATION.....	71
8.2. LE PROCESSUS DE MODELISATION DEDIE AU SYSTEME.....	73
8.3. ANALYSE ET SPECIFICATION.....	73
8.4. CONCEPTION ET IMPLANTATION.....	74
8.5. ANALYSE DES RESULTATS DE L'ETUDE ET PRISE DE DECISIONS.....	75
8.6. SYNTHESE DE LA METHODOLOGIE.....	76

## 1. INTRODUCTION

Comme indiqué dans l'introduction générale de ce document, l'objectif de cette partie est d'analyser l'existant concernant les problèmes de niveau tactique de la chaîne logistique distingués au chapitre 1 suivant plusieurs axes :

- les modèles et méthodes d'optimisation dédiés à la planification tactique,
- les problématiques de la planification tactique non liées à l'optimisation,
- les approches financières applicables à une planification tactique par les flux financiers,
- la gestion de stock à demande différenciée.

La première partie de ce chapitre se focalise sur l'optimisation de la planification tactique par l'emploi de modèles de lot sizing. En effet, ces modèles, fort nombreux, sont employés dans la littérature pour résoudre les problèmes de planification. Néanmoins, bien que ces modèles soient très employés, peu de classifications sont proposées. Ainsi, il existe une méconnaissance de l'applicabilité de chaque modèle et surtout des méthodes permettant de les résoudre. L'état de l'art proposé dans ce chapitre a pour but d'effectuer une analyse des modèles de référence étudiés dans la littérature en se demandant, premièrement, si ces modèles répondent aux problématiques industrielles définies au chapitre 1, puis, secondement en se demandant, quelles sont les méthodes employées, et quelles sont leur performance sur des instances considérées comme industrielles. Cet état de l'art a fait l'objet d'une publication dans une revue internationale (Comelli *et al.*, 2007) (a).

Dans une deuxième partie, nous présentons en quoi la problématique de la planification tactique ne se limite pas aux problèmes d'optimisation. Nous présentons ainsi les enjeux des études portant sur l'intégration verticale et sur les problèmes de replanification et de robustesse afin de percevoir la planification tactique dans son ensemble et comprendre les limites d'une approche totalement axée sur l'optimisation.

La troisième partie de ce chapitre se concentre sur l'évaluation des outils et méthodes du supply chain costing pour l'évaluation financière de la planification tactique. Celle-ci a pour but d'analyser les études menées dans ce domaine afin de dresser un bilan concernant la prise en compte des aspects financiers dans le processus de planification tactique.

La quatrième partie de ce chapitre se concentre sur l'analyse des outils existants dédiés au SCM tels que les ERP et les APS afin de définir et comprendre l'offre apportée aux industriels en termes de planification tactique des flux physiques et financiers.

Enfin la dernière partie présente un état de l'art sur la gestion des stocks à demande différenciée. Cette dernière a pour objectif d'analyser les études effectuées afin de déterminer quelle solution de gestion semble a priori la meilleure pour notre cas d'étude.

## 2. PROPOSITION D'UNE CLASSIFICATION DES MODELES DE LOT SIZING ET METHODES DE RESOLUTION DEVELOPPEES POUR LA PLANIFICATION TACTIQUE (Comelli *et al.*, 2007) (a)

### 2.1. INTRODUCTION

La majorité de la littérature traitant de la planification tactique est basée sur la génération de plans optimaux. Pour cela, les problèmes de planification sont communément traités dans la littérature à partir de modèles mathématiques dits de lot sizing. De nombreuses contributions proposent d'appliquer à ces modèles de planification des méthodes d'optimisation afin de générer des plans optimaux. Les modèles et les méthodes étant très nombreux, il est à l'heure actuelle très difficile de connaître la performance de chaque méthode sur chaque modèle.

Nous proposons dans cette section une analyse détaillée des modèles et des méthodes appliqués au problème de planification tactique afin de connaître au niveau tactique les modèles de base identifiés et les méthodes employées. Le but de cette section est donc dans un premier temps de distinguer, parmi les modèles de la littérature, les modèles permettant la modélisation des problèmes de planification tactique. Ceci sera effectué au moyen d'une classification qui permettra d'appréhender l'ensemble des modèles de lot sizing en définissant les hypothèses majeures de chacun d'entre eux. Après avoir distingué trois modèles dédiés au problème de planification tactique, nous proposons pour chaque modèle une analyse détaillée des contributions. L'objectif est de présenter pour chaque modèle : les extensions (ajout de contraintes et hypothèses) proposées par les auteurs, les méthodes employées, les instances traitées ainsi que les bornes utilisées pour le calcul des gaps. Cette analyse nous permettra ainsi d'appréhender l'ensemble des modèles de planification tactique proposé par la littérature et la performance des méthodes employées.

## 2.2. CLASSIFICATION DES MODELES DE LOT SIZING

La littérature concernant les modèles de lot sizing est réellement très importante. Les modèles de lot sizing, bien que très divers, ont pour objectif commun de déterminer par période une quantité de produits à fabriquer. Cette détermination est plus ou moins complexifiée suivant les contraintes prises en compte.

Quelques auteurs, tels que (Rizk et Martel, 2001) et (Rota, 1998), ont proposé une classification des modèles de lot sizing. Néanmoins, de manière à offrir une vue synthétique de l'ensemble des modèles, nous présentons dans un premier temps une classification des principaux modèles au moyen de la figure 2-1. Cette arborescence distingue les modèles en fonction des paramètres principaux et des hypothèses majeures. Nous distinguons les modèles suivant les critères ci-dessous.

- Mono/Multi niveau.

Les modèles mono niveau se limitent à planifier la production de produits finis au contraire des modèles multi niveau qui consiste également à planifier leurs composants. Ces modèles sont basés sur l'utilisation d'une matrice « gozinto » et sur l'équilibre des stocks qui assure que chaque produit ne peut être fabriqué sur une période si et seulement si suffisamment de composants ont été fabriqués aux périodes précédentes.

- Mono/Multi produit.

La complexité de résolution des problèmes présentés dépend parfois du nombre de produits. Ceci est le cas notamment pour le modèle de Wilson.

- Contrainte de capacité ou non.

La complexité de résolution des problèmes présentés dépend de la prise en compte ou non d'une capacité de production.

- Demande constante ou variable.

Le fait de considérer une demande variable ou dynamique revient à discrétiser l'horizon de planification en périodes plus ou moins longues. Dans le cas d'une demande continue, un seul calcul de quantité est alors nécessaire.

- Petites ou grandes périodes (Small ou big bucket).

Comme mentionné précédemment la majorité des modèles de lot sizing suppose une demande variable qui nécessite de discrétiser l'horizon en périodes. Cette distinction réside dans la taille des périodes considérées qui permet de modéliser des problèmes de granularité différente. La difficulté liée à la modélisation des systèmes physiques a en effet conduit à l'élaboration de ces deux grands types de modèle de planification, les modèles dits de « big bucket » et les modèles dits de « small bucket ». Les modèles « big bucket » modélisent la production de plusieurs produits au cours d'une même période tandis que les modèles « small bucket » ne modélisent la production que d'un seul produit par période mais permettent, par suite, de proposer un séquençement de la solution proposée. Les modèles « small bucket » ne sont donc pertinents que dans le cas où les périodes sont très courtes (micro période, par exemple la journée). En effet, ces modèles supposent que la ressource considérée ne fabrique qu'un seul type de produit par période. En revanche, ces modèles permettent de modéliser plus finement les coûts de lancement en séquençant la production. A l'opposé, les modèles « big bucket » permettent de modéliser la planification sur des périodes plus longues (macro période, la semaine par exemple).

L'arborescence obtenue par ces critères nous permet de définir sur chaque feuille un modèle de base appartenant aux modèles de lot-sizing. Nous identifions donc les modèles mono niveau suivants.

- Le CLSP (Capacitated Lot Sizing Problem) : ce problème est un problème « big bucket » à demande dynamique et à capacité limitée. Ce problème est connu comme étant NP-difficile.
- Le LSP (Lot Sizing Problem) : ce problème correspond au problème du CLSP relaxé de la contrainte de capacité ; ce problème est alors polynomial.
- Le EOQ (Economic Order Quantity) et ELSP (Economic Lot-sizing Problem): Le EOQ et le ELSP (extension multi produit du problème) sont des problèmes à demande constante, sans contrainte de capacité et à horizon de planification infinie. Le EOQ est un problème polynomial (Formule de Wilson) au contraire du ELSP qui est NP-difficile.
- Le DLSP (Discrete Lot-Sizing Problem) est un problème « small bucket ». Il suppose qu'un seul produit peut être fabriqué par période, utilisant la pleine capacité du système (hypothèse du « tout ou rien »). Ce problème est NP-difficile.

- Le CSLP (Continuous Setup Lot Sizing Problem) est un problème « small bucket ». Il suppose qu'un seul produit peut être fabriqué par période mais la capacité peut ne pas être entièrement utilisée. Cette extension du DLSP est également NP-difficile.
- Le PLSP (Proportionnal Lot Sizing Problem) : l'idée principale du modèle est d'utiliser la capacité restante dans le modèle CSLP pour planifier la production d'un second produit. Ce modèle est également NP-difficile.
- Le GLSP (General Lot Sizing Problem): ce problème intègre le dimensionnement de la taille de lots et l'ordonnancement de plusieurs produits en tenant compte d'une contrainte de capacité machine. Ce modèle est NP-difficile.

Concernant les modèles multi niveau, des modèles semblables aux modèles mono niveau sont considérés. Seule l'adjonction du préfixe ML (Multi Level) pour multi niveau les différencie. Compte tenu du positionnement de notre étude, au niveau de la planification tactique de la chaîne logistique, nous nous restreignons notre étude aux modèles de planification « big bucket ».

(Drexel et Kimms, 1997) définissent les modèles CLSP et MLCLSP comme les modèles de lot-sizing correspondant aux problèmes de planification PDP et MRPII. Compte tenu des remarques effectuées sur les liens très étroits entre PDP et PIC, nous focalisons donc notre étude sur ces deux modèles. La problématique soulevée précédemment consiste à déterminer quelles sont les réelles performances des différentes méthodes d'optimisation (méthodes exactes ou approchées) concernant la résolution de ces problèmes. Il est à noter qu'aucun auteur n'a désigné à notre connaissance de modèle de référence pour le master planning d'une chaîne logistique. Nous aborderons la planification tactique des chaînes logistiques en présentant les modèles dédiés de la littérature.

Pour chaque modèle, nous donnons dans un premier temps sa formulation mathématique, puis présentons une classification des extensions rencontrées dans la littérature ainsi qu'une analyse des méthodes employées pour leur résolution.

### 2.3. CLSP MODELE DE REFERENCE POUR LE PLAN DIRECTEUR DE PRODUCTION

Comme mentionné précédemment, le CLSP est reconnu par la littérature (Drexel et Kimms, 1997) comme le modèle de base à la problématique du plan directeur de production. Ce problème peut être formulé de la manière suivante (Drexel et Kimms, 1997) :

$$\begin{aligned}
 & \text{Min} \sum_{t=1}^T \left[ \sum_{i=1}^N (s_i X_{it} + h_i I_{it} + r_i Q_{it}) \right] \quad (1) \\
 & \left\{ \begin{aligned} I_{it} &= I_{i(t-1)} + Q_{it} - d_{it} \quad i \in \{1, \dots, n\} \quad t \in \{1, \dots, T\} \quad (2) \\ \sum_{i=1}^N p_i Q_{it} &\leq C_t \quad t \in \{1, \dots, T\} \quad (3) \\ Q_{it} &\leq C_t X_{it} \quad i \in \{1, \dots, n\} \quad t \in \{1, \dots, T\} \quad (4) \\ I_{it}, Q_{it} &\in \mathbb{N} \quad i \in \{1, \dots, n\} \quad t \in \{1, \dots, T\} \quad (5) \\ X_{it} &\in \{0, 1\} \quad i \in \{1, \dots, n\} \quad t \in \{1, \dots, T\} \quad (6) \end{aligned} \right.
 \end{aligned}$$

où  $N$  est le nombre de produits,  $T$  est le nombre de périodes,  $d_{it}$  est la demande externe pour le produit  $i$  à la période  $t$ ,  $C_t$  est la capacité disponible à la période  $t$ ,  $p_i$  est la capacité consommée pour produire un produit  $i$ ,  $s_i$  est le coût de lancement non négatif pour un produit  $i$ ,  $h_i$  est le coût de stockage pour un produit  $i$ ,  $r_i$  est le coût de production pour un produit  $i$  et  $I_{i0}$  est le stock initial pour un produit  $i$ . Concernant les variables,  $Q_{it}$  est la quantité de produit  $i$  fabriquée à la période  $t$ ,  $I_{it}$  est la quantité de  $i$  stockée à la fin de la période  $t$  et  $X_{it}$  est la variable binaire qui indique si un lancement (setup) pour un produit  $i$  s'est produit à la période  $t$  ( $X_{it} = 1$ ) ou non ( $X_{it} = 0$ ). (1) est la fonction objectif égale à la somme des coûts de setup, de stockage et de production que nous désirons minimiser. (2) représente l'équilibre des stocks. (3) représente la contrainte de capacité. (4) représente la contrainte de setup : à cause des restrictions, la production d'un produit peut seulement avoir lieu si la production est lancée pour un produit particulier. (5) est la condition de non négativité. Grâce à (6), les variables de setup sont définies comme binaires.



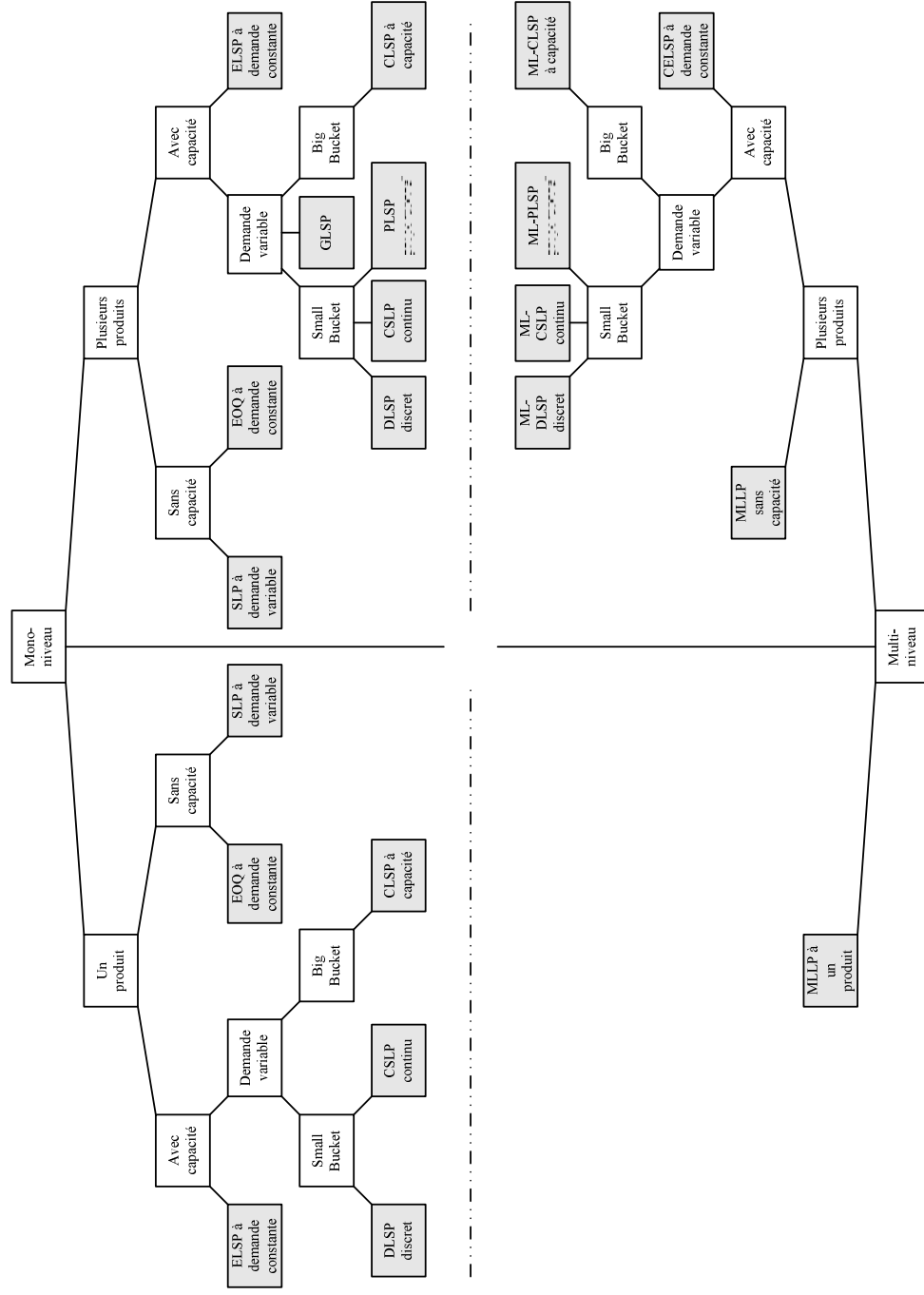


Figure 2-1. Classification des modèles de lot sizing

Concernant la complexité ce problème, (Bitran et Yanasse, 1982) ont montré que ce dernier était un problème NP-difficile. Le CLSP, de par sa définition, est dédié au problème du PDP. En effet, le but de ce modèle est de déterminer par période les quantités de produits qui seront fabriquées de manière à satisfaire une demande connue. Compte tenu des liens étroits entre PDP et PIC, il peut également être adapté pour résoudre le PIC. La prise en compte des contraintes du PIC et du PDP est très différente selon les cas industriels. Le recours au CLSP pour la modélisation de ces deux modèles va donc différer suivant la granularité des périodes choisies, du nombre de produits considérés ainsi que de la modélisation des ressources.

Afin d'être adapté à la réalité industrielle, le CLSP nécessite des extensions concernant :

- soit la contrainte de respect de la demande (retard, demande perdue, etc.),
- soit la capacité des ressources (recours aux heures supplémentaires, à la sous-traitance ou aux intérimaires).

Il est donc possible d'imaginer que la résolution de ces problèmes par différentes méthodes dépend des configurations et des extensions choisies et donc qu'il existerait un intérêt certain à étudier ces extensions. L'étude de la littérature sur le problème CLSP nous montre qu'en réalité l'extension la plus étudiée est la prise en considération ou non d'un temps de lancement (setup Time,-ST). Concrètement, cela signifie qu'à chaque période, un temps de lancement est considéré dès que la quantité fabriquée d'un produit n'est plus nulle. (Trigeiro *et al.*, 1989) montrent que la prise en compte de cette contrainte détermine un problème de faisabilité NP-Complet. La considération d'une telle extension est intéressante, néanmoins elle suppose que les produits soient fabriqués par campagne au sein d'une seule période ce qui peut réduire la pertinence du CLSP pour la modélisation du PDP et du PIC.

Cependant compte tenu de la littérature très importante étudiant ce problème, nous séparons par la suite l'étude de la littérature en deux parties CLSP et CLSP-ST. Plusieurs papiers proposent un état de l'art sur les modèles de lot-sizing et indirectement du CLSP. (Karimi *et al.*, 2003) concentrent leur analyse sur les approches de résolution utilisées pour le CLSP et ses extensions. Plus de trente papiers sont étudiés et sept approches de résolutions sont listées : méthode exacte, heuristique période par période, heuristique d'amélioration, heuristique de relaxation, heuristique branch and bound, génération de colonnes et autres heuristiques. Une autre revue présentée par (Rizk et Martel, 2004) est plus restreinte et mentionne quelques méthodes de résolutions précédemment citées. Ces travaux ne mentionnent malheureusement pas les extensions effectuées, et la performance des méthodes en fonction de la taille des instances connues. C'est pourquoi nous proposons notre propre classification pour les modèles CLSP et CLSP-ST.

## 2.4. CLASSIFICATION DU CLSP

Nous proposons de classer les approches de résolution utilisées pour le CLSP en deux ensembles : la programmation mathématique ou les méthodes exactes et les méthodes approchées. La figure 2-2 présente ainsi la classification des méthodes utilisées pour le CLSP. Pour chaque méthode, nous faisons apparaître le nom du (ou des) auteurs et la taille d'instance la plus élevée qu'il résout.

Concernant la programmation mathématique, nous distinguons les auteurs utilisant le Branch & Bound et le Branch & Cut. Nous mentionnons par ailleurs un travail proposant une reformulation par plus court chemin.

Concernant les méthodes approchées, nous différencions les heuristiques de sens commun, les heuristiques basées sur la programmation mathématique, et les métaheuristiques. Les heuristiques de sens commun regroupent les algorithmes gloutons. Ils appréhendent le problème selon trois axes : période par période, produit par produit et par amélioration. Les deux premiers sont des algorithmes de construction tandis que le second améliore une solution non nécessairement réalisable. Les heuristiques basées sur la programmation mathématique reposent sur des relaxations linéaire et lagrangienne et sur une procédure de génération de colonne utilisant la reformulation de Manne (Manne, 1958). Concernant les métaheuristiques, le recuit simulé, la recherche tabou et les algorithmes génétiques sont largement utilisés.

Le tableau 2-1 donne ainsi pour chaque papier étudié, l'auteur, l'année, la méthode employée, la taille maximale d'instance, le meilleur gap en pourcentage donné et la référence de valeur. Nous rappelons que :

- BIP : Meilleure solution connue,
- BH : Meilleure solution donnée par l'heuristique proposée par les auteurs de référence,
- LB : Borne inférieure.

L'étude conjuguée de la classification et du tableau nous montre que les auteurs ont étudié des méthodes très diverses pour la résolution du CLSP. Néanmoins, exceptés (Hindi, 1995) et (Eppen et Martin, 1987), aucun auteur n'utilise les mêmes instances et/ou la même référence de comparaison. Ceci rend donc impossible la comparaison entre méthodes et aucune conclusion concernant la performance des méthodes ne peut être

considérée comme pertinente. Cependant il est possible de noter que 12 papiers sur les 19 étudiés utilisent des méthodes approchées, et parmi ceux-ci seuls 3 utilisent des métaheuristiques, les autres étant basés sur le développement d'heuristiques. Concernant les instances, leur taille se limite à 200 produits et 10 périodes pour les plus grandes tandis qu'une majorité se limite à 20 produits et 20 périodes.

Donner des conclusions sur la performance des méthodes dédiées à ce problème n'est pas évident. Compte tenu de la complexité du problème, il semblerait que, pour résoudre des instances de tailles industrielles, les méthodes approchées soient les plus appropriées. Les heuristiques de sens commun, ainsi que celles basées sur la programmation mathématique, sont les plus proposées, l'emploi des métaheuristiques étant encore très faible. Enfin, nous tenons à souligner que quelques papiers utilisent les instances de (Maes et Van Wassenhove, 1986). A notre avis, ces dernières devraient être considérées par les futures études comme des instances de référence.

## 2.5. CLASSIFICATION DU CLSP-ST

Comme mentionné précédemment, le CLSP-ST présente non seulement une complexité NP-difficile mais aussi une complexité NP-Complet en termes de faisabilité. Cette double complexité explique très certainement l'intérêt porté par de nombreux auteurs à l'optimisation de ce problème. L'étude de cette littérature nous montre que la plupart des auteurs étudie le CLSP-ST, non pas dans sa forme initiale, mais en tenant compte d'extensions. Les extensions étudiées peuvent être classifiées en deux ensembles : le premier regroupe les extensions qui modifient la contrainte initiale de respect de la demande et le second regroupe les extensions permettant d'augmenter les capacités de production.

Concernant les extensions modifiant la demande, nous retrouvons l'utilisation :

- de « backlogging » qui permet de traiter des commandes en retard (Karimi *et al.*, 2005),
- de rupture qui permet de considérer la perte totale de commandes (Absi et Kedad-Sidhoum, 2006),
- de stock initial associé à un coût (Degraeve et Jans, 2003),
- de « pricing » qui régule la demande des clients en ajustant les prix des produits (Haugen *et al.*, 2006). (Il est important de souligner que cette extension rend le problème quadratique.)

Concernant la modification de capacité, les extensions principales consistent en l'utilisation :

- d'heures supplémentaires,
- d'une modélisation plus fine des temps de lancement, en supposant qu'un produit déjà fabriqué en fin de période n'entraîne pas un nouveau coup de lancement à la période suivante.

La figure 2-3 classe les méthodes de résolution utilisées pour le CLSP-ST et les extensions précédentes. Comme précédemment, nous distinguons les méthodes exactes des méthodes approchées pour chaque extension proposée. Parmi la programmation mathématique, les procédures de Branch & Bound et Branch & Cut sont utilisées. Concernant les méthodes approchées, les heuristiques lagrangiennes et les métaheuristiques telles que la recherche tabou et GATA, qui combine algorithme génétique, recherche tabou et recuit simulé, sont largement utilisés. Nous pouvons par ailleurs noter une procédure de Dantzig-Wolfe qui utilise une nouvelle formulation du CLSP-ST proposée par (Degraeve et Jans, 2003).

La figure 2-3 présente pour chaque extension et chaque procédure les contributions des auteurs ainsi que la taille maximum des instances traitées. L'étude de cette dernière nous montre ainsi le nombre d'extensions étudiées mais surtout le très faible nombre d'auteurs travaillant sur la même extension. Ainsi, la plupart des extensions (initial storage, shortage, carry over, etc.) a été étudiée par un auteur unique. Le tableau 2-2 donne pour chaque contribution l'auteur, l'année, l'extension étudiée, l'approche de résolution utilisée, la taille maximum de l'instance, le gap et la valeur de référence. Nous rappelons la signification de BIP, meilleure solution connue, LB, borne inférieure et LBT, borne inférieure donnée par (Trigeiro *et al.*, 1989).

L'étude conjuguée du tableau 2-2 et de la figure 2-3 nous amène à souligner qu'aucun papier n'utilise d'heuristiques de sens commun et de plus, très peu de papiers utilisent des méthodes de programmations mathématiques. Par conséquent, métaheuristiques et relaxations lagrangiennes sont largement utilisées. (Du Merle *et al.*, 1997) conjecturent que la relaxation lagrangienne devrait être la meilleure approche pour résoudre le problème du CLSP-ST. En effet, les méthodes de type métaheuristique doivent faire face à des problèmes d'accessibilité au niveau du système de voisinage. En effet, les travaux de (Gopalakrishnan *et al.*, 2001) consistent à utiliser une recherche tabou pour traiter le problème du CLSP avec carry over. Bien que l'extension étudiée soit différente, la qualité des résultats comparés à ceux obtenus par une relaxation lagrangienne semble moins bonne. Ceci s'explique par le fait qu'utiliser une relaxation lagrangienne permet de réduire le problème d'accessibilité et donne de meilleurs résultats. Cette observation peut être généralisée au CLSP même si pour ce problème la contrainte de capacité est moins critique. Pour conclure, ces deux approches semblent néanmoins prometteuses.

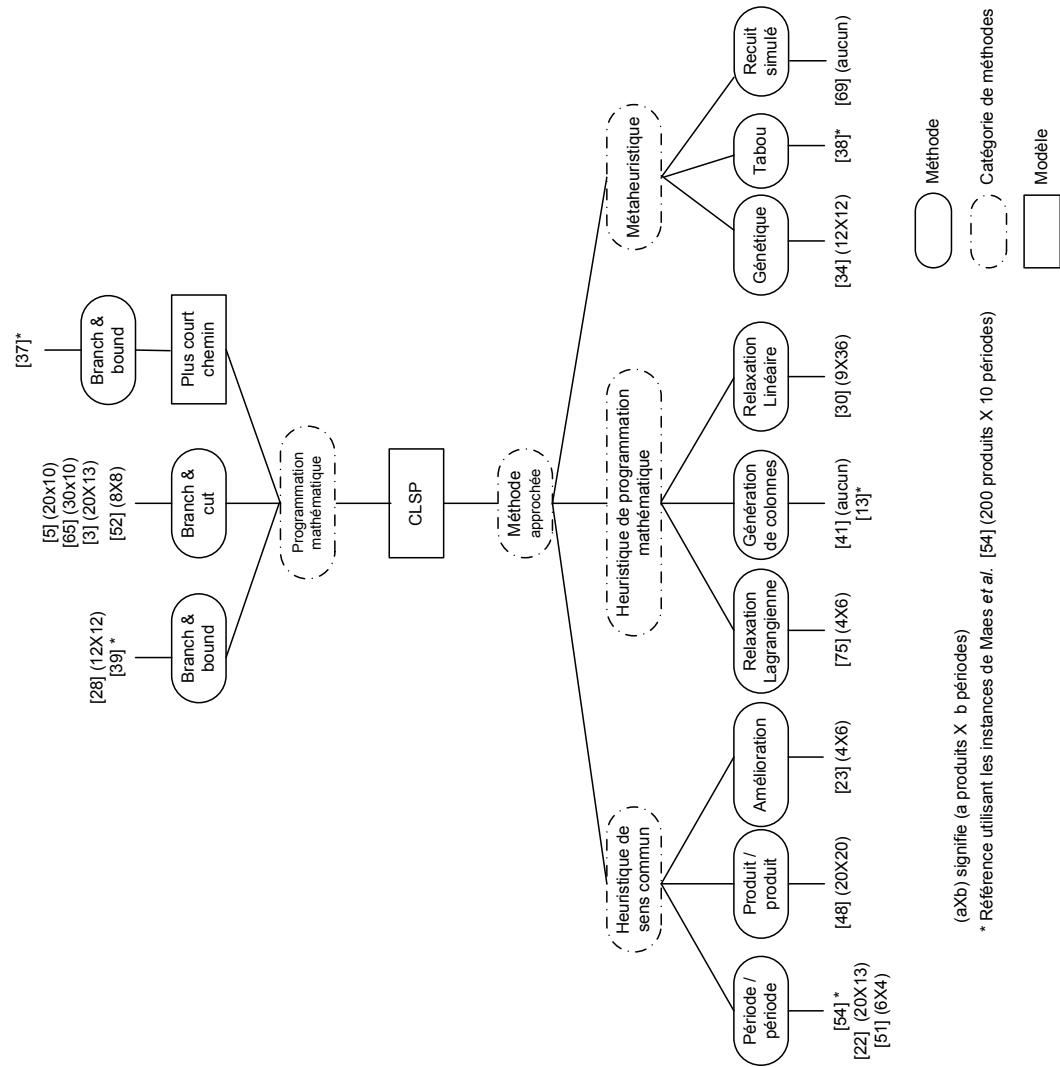


Figure 2.2. Classification des approches de résolution pour le CLSP

Auteurs	N°	Méthodes exactes	Méthodes approchées	Taille maximale des instances	Gap	Valeur de référence
Hindi, 1995	39	Branch & Bound		200 X 10	0,36	BIP
Eppen et Martin, 1987	26	Branch & Bound		200 X 10	0,18	BIP
Gelders <i>et al.</i> , 1986	28	Branch & Bound		12 X 12	0,36	BIP
Belvaux et Wolsey, 2000	5	Branch & Cut		20 X 10	0	BIP
Pochet et Wolsey, 1991	65	Branch & Cut		30 X 10	0,90	LB
Barany <i>et al.</i> , 1984	3	Branch & Cut		20 X 13	0	BIP
Leung <i>et al.</i> , 1989	52	Branch & Cut		8 X 8	-	-
Maes et Van Wassenhove, 1986	55		Période / Période	200 X 10	-	-
Dixon et Silver, 1981	22		Période / Période	20 X 13	-	-
Lambrecht et Vanderveken, 1979	51		Période / Période	6 X 4	2,64	BIP
Kirca et Kökten, 1994	48		Produit / Produit	20 X 20	1,41	BH [22] [21]
Dogramaci <i>et al.</i> , 1981	23		Amélioration	10 X 48	1,04	BIP
Thizy et Van Wassenhove, 1985	75		Relaxation lagrangienne	8 X 8	0,17	BIP
Huisman <i>et al.</i> , 2003	41		Génération de colonne[s]	-	-	-
Chen <i>et al.</i> , 1990	13		Génération de colonne[s]	200 X 10	-	-
Gilbert et Madan, 1991	30		Relaxation linéaire	9 X 36	2,93	LB
Haase et Kohlmorgen, 1995	34		Algorithme génétique[s]	12 X 12	1,44	BH [23]
Hindi, 1996	38		Recherche Tabou	200 X 10	0,23	LB
Salomon <i>et al.</i> , 1993	69		Recuit simulé	-	-	-

Tableau 2-1. Approches de résolution pour le CLSP

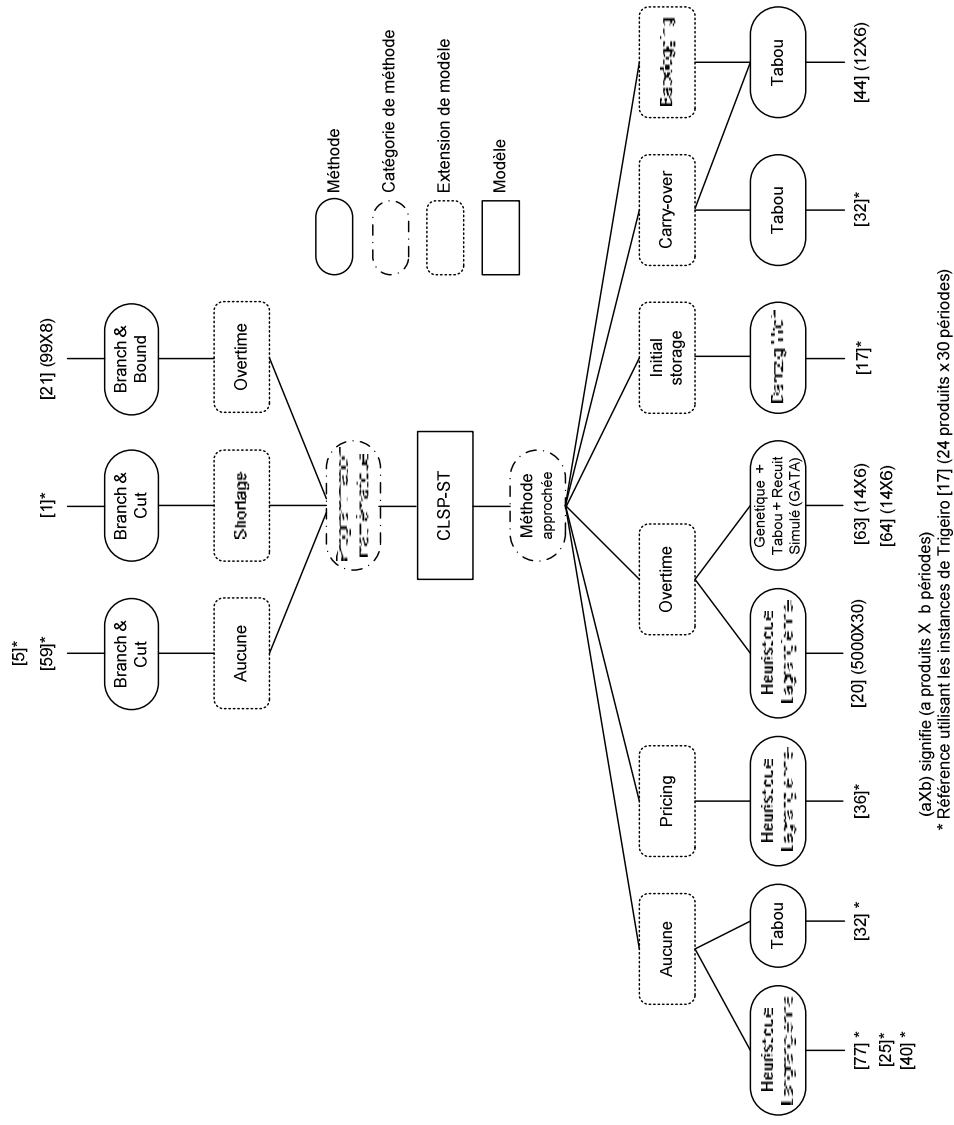


Figure 2-3. Classification des approches de résolution pour le CLSP-ST

Auteurs		Extensions	Méthodes exactes	Méthodes approchées	Taille maximale d'instances	Gap	Valeur de référence
Miller <i>et al.</i> , 2000	59	Aucun	Branch & Cut		30 X 24	0,41	BIP
Belvaux et Wolsey, 2000	5	Aucun	Branch & Cut		30 X 24	0,87	BIP
Absi et Kedad-Sidhoum, 2006	1	Shortage	Branch & Cut		30 X 24	1,00	LB
Diaby <i>et al.</i> , 1992	20	Overtime	Branch & Bound		99 X 8	0,65	LB
Trigeiro <i>et al.</i> , 1989	77	Aucun		Relaxation lagrangienne	30 X 24	-	-
Du Merle <i>et al.</i> , 1997	25	Aucun		Relaxation lagrangienne	30 X 24	-	-
Hindi <i>et al.</i> , 2003	40	Aucun		Relaxation lagrangienne	30 X 24	0,28	LBT
Haugen <i>et al.</i> , 2006	36	Pricing		Relaxation lagrangienne	30 X 24	0,58	LB
Diaby <i>et al.</i> , 1992	21	Overtime		Relaxation lagrangienne	5000 X 30	0,59	LB
Ozdamar <i>et al.</i> , 2000 (b)	63	Overtime		G.A.T.A	14 X 16	-	-
Ozdamar <i>et al.</i> , 2002	64	Overtime		G.A.T.A	14 X 16	0,17	BIP
Degreave et Jans, 2003	17	Initial Storage		Dantzig-Wolfe	30 X 24	0,20	LB
Gopalakrishnan <i>et al.</i> , 2001	32	Carry-over Aucun		Recherche Tabou Recherche Tabou	30 X 24 30 X 24	12,4 4,00	LBT
Karimi <i>et al.</i> , 2005	44	Carry over and backlogging		Recherche Tabou	12 X 6	-	-

Tableau 2-2. Approches de résolution pour le CLSP-ST

Pour conclure sur l'état de l'art concernant le CLSP et le CLSP-ST, l'étude de ces deux domaines est au jour d'aujourd'hui encore très intense et s'explique par le fait que ces modèles sont la base des moteurs de planification des logiciels APS (Drexler et Kimms, 1997) et (Génin, 2004). Ils suscitent donc un intérêt certain. Concernant le modèle CLSP, seulement 2 papiers sur les 19 étudiés utilisent le même modèle, la même instance et la même valeur de référence pour le calcul du gap, rendant ainsi impossible la comparaison des méthodes. Concernant le modèle CLSP-ST, de très nombreuses extensions ont été proposées pour visiblement réduire la complexité du problème de faisabilité. Leur intérêt industriel est limité, ou alors, très peu discuté dans les articles. La lecture du tableau montre qu'aucune approche ne peut être rigoureusement comparée. Il est donc difficile d'appréhender la performance des méthodes étudiées.

## 2.6.MLCLSP – MODELES MULTI NIVEAU: MODELISATION DU MRP

Comme mentionné précédemment, le modèle CLSP est un modèle mono niveau dédié à la problématique PDP ou PIC. Le chapitre 1 a montré la nécessité de considérer la planification non seulement des produits finis mais également de ses composants. Ceci est effectué le plus souvent au moyen de l'approche MRP et MRPII qui permettent de faire remonter les besoins en amont de la chaîne logistique. Néanmoins, l'approche MRPII est critiquée pour être une méthode itérative qui néglige dans un premier temps la capacité des usines et n'offre donc pas de solution optimale (Génin, 2004).

Ainsi, de manière à appréhender la problématique de la synchronisation horizontale dans sa globalité, plusieurs modèles de lot sizing, dits multi niveau, ont été créés. Le modèle de base multi niveau est nommé le MLCLSP et a été proposé par (Billington *et al.*, 1986). Le but de ce modèle est de lier le besoin en produits finis aux besoins en composants internes à l'aide d'une matrice appelée « gozinto ». Celle-ci est une translation algébrique de la nomenclature comme illustré par la figure 2-4. Le coefficient  $a_{ij}$  de cette matrice représente le nombre de produits  $i$  nécessaires pour produire un produit  $j$ , où  $i$  est le prédécesseur immédiat de  $j$  dans la nomenclature.

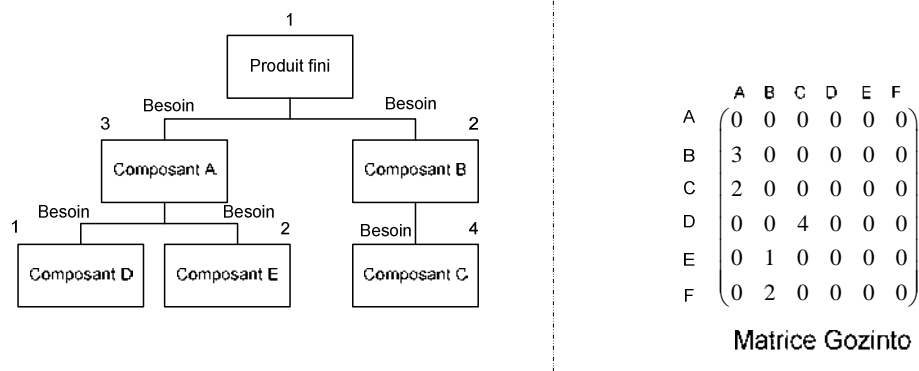


Figure 2-4. Exemple de nomenclature et de la matrice « gozinto » associée

Evidemment la complexité de telle matrice dépend de la structure de la nomenclature. Comme mentionné au chapitre 1, trois types de nomenclatures sont considérés : Série (ou linéaire), Assemblage et Général. La figure 2-5 illustre ces derniers.

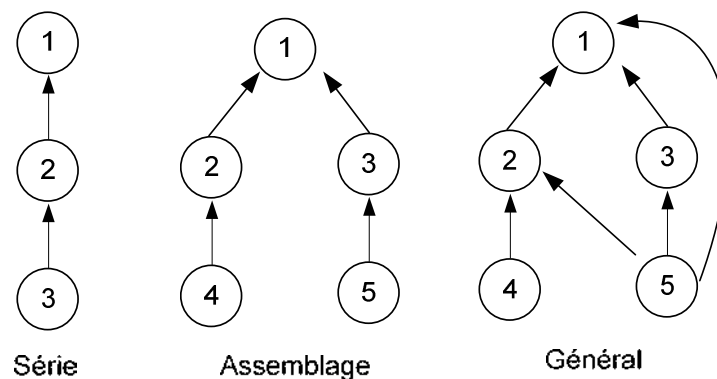


Figure 2-5. Types de nomenclatures



### 2.6.1. MODELE DU MLCLSP

Nous présentons dans un premier temps la formalisation mathématique du modèle MLCLSP donnée par (Tempelmeier et Derstro, 1996). D'autres formalisations ont été données par (Billington *et al.*, 1986) et (Franca *et al.*, 1997).

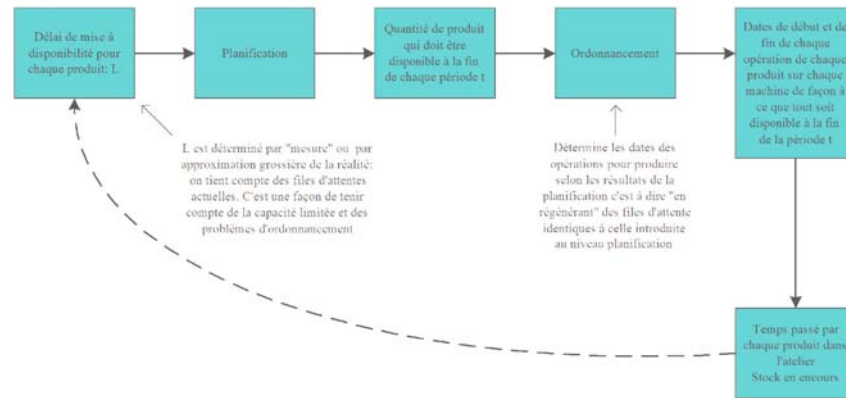
$$\begin{aligned}
 & \text{Min} \sum_{t=1}^T \left[ \sum_{i=1}^N (s_i X_{it} + h_i I_{it} + r_i Q_{it}) \right] \quad (7) \\
 & \begin{cases} I_{it} = I_{i(t-1)} + Q_{i(t-z_i)} - d_{it} - \sum_{j \in S(i)} a_{ij} Q_{jt} & i \in \{1, \dots, n\} \quad t \in \{1, \dots, T\} \quad (8) \\ \sum_{i=1}^N v_{ik} Q_{it} \leq b_{kt} & k \in \{1, \dots, K\} \quad t \in \{1, \dots, T\} \quad (9) \\ Q_{it} \leq M_{it} X_{it} & i \in \{1, \dots, n\} \quad t \in \{1, \dots, T\} \quad (10) \\ I_{it}, Q_{it} \in \mathbb{N} & i \in \{1, \dots, n\} \quad t \in \{1, \dots, T\} \quad (11) \\ X_{it} \in \{0, 1\} & i \in \{1, \dots, n\} \quad t \in \{1, \dots, T\} \quad (12) \end{cases}
 \end{aligned}$$

où  $N$  est le nombre de produits,  $T$  est le nombre de périodes et  $K$  le nombre de ressources.  $d_{it}$  est la demande externe pour un produit  $i$  à la période  $t$ ,  $b_{kt}$  est la capacité disponible de la ressource  $k$  à la période  $t$ ,  $z_i$  est le délai de livraison du produit  $i$ ,  $S(i)$  est le nombre de successeur du produit  $i$  dans la nomenclature,  $v_{ik}$  est la capacité consommée pour produire un produit  $i$  par ressource  $k$ ,  $a_{ij}$  est le coefficient de production (nombre de produits requis pour produire une unité du successeur immédiat donné par la matrice gozinto),  $s_i$  est le coût de setup non négatif pour le produit  $i$ ,  $h_i$  est le coût de stockage non négatif pour le produit  $i$ ,  $r_i$  est le coût de production non négatif pour le produit  $i$  et  $I_{i0}$  est le stock initial pour le produit  $i$ ,  $M_{it}$  est une borne supérieure de la quantité à fabriquer pour le produit  $i$  à la période  $t$ . Concernant les variables MLCLSP,  $Q_{it}$  est la quantité de produit  $i$  fabriquée à la période  $t$ ,  $I_{it}$  est la quantité en stock de produit  $i$  à la fin de la période  $t$  et  $X_{it}$  est la variable binaire qui indique si un setup s'est produit pour le produit  $i$  à la période  $t$  ( $X_{it} = 1$ ) ou non ( $X_{it} = 0$ ). (7) est la fonction objectif égale à la somme des coûts de setup, de stockage et de production que nous cherchons à minimiser. (8) représente l'équilibre des stocks, par rapport au CLSP, la demande interne est ajoutée et modélisée grâce à la matrice gozinto. La disponibilité des produits est modélisée par le lead time. (9) représente la contrainte de capacité. (10) représente les contraintes de setup : à cause des restrictions, la production d'un produit peut seulement avoir lieu si la machine est lancée pour un produit particulier. (11) est la condition de non négativité et (12) définit les variables de setup comme binaires.

Le modèle précédemment présenté suppose l'utilisation d'un paramètre nommé « lead time ». En effet, prendre en compte le besoin en composants internes exige de modéliser le temps requis pour obtenir ces derniers. Ceci est pris en compte au moyen de ce paramètre. Celui-ci représente le temps requis entre la fin de production du produit et la disponibilité du produit pour son utilisation pour la conception d'un autre produit (temps de transport, d'emballage, ou de contrôle). Le lead time est concrètement difficile à évaluer, si une partie de ce dernier est incompressible ; une autre dépend du contexte dans lequel se trouve le système industriel. La présence d'encours ou non en est l'illustration, par exemple pour l'opération de contrôle. Ainsi, plusieurs études telles que (Bel, 2004) montrent l'ambivalence de cette notion, puisque ce paramètre est à la fois entrée et sortie du modèle de planification (figure 2-6). Enfin le modèle présenté précédemment définit le MLCLSP comme un modèle multi ressource. Il suppose ainsi que les produits peuvent être fabriqués sur différentes ressources.

### 2.6.2. ANALYSE DE LA LITTERATURE CONCERNANT LE MLCLSP

Comme le CLSP, le MLCLSP est connu pour être un modèle NP-difficile (Tempelmeier et Derstro, 1996) et l'ajout d'une contrainte de setup génère également un problème de faisabilité NP-complet. L'étude de la littérature concernant les problèmes basés sur le MLCLSP montre que de nombreux auteurs ont étudié le MLCLSP en relaxant la contrainte de capacité, définissant ainsi le MLLP. Ce dernier est très étudié car souvent intégré au sein des logiciels ERP/APS (correspondant ainsi à la logique MRP sans contrainte de capacité). Par ailleurs, au contraire du CLSP sans contrainte de capacité qui est un problème polynomial (Wagner *et al.*, 1958), le MLLP est à lui seul un problème NP-difficile (Delleart *et al.*, 2000). Ainsi de nombreux auteurs se focalisent sur l'étude de ce problème et utilisent leur résultat comme borne inférieure pour le MLCLSP.



**Figure 2-6. La notion de « lead time » : entrée et sortie (Bel., 2004)**

Nous proposons ainsi de classer les approches de résolution pour résoudre le MLLP et le MLCLSP. Pour chaque modèle, nous distinguons dans un premier temps les principales extensions utilisées par les auteurs. La principale extension est l'utilisation ou non de lead time, puis celle ou non de setup time. La figure 2-7 présente ainsi notre classification.

Concernant le MLLP, le tableau 2-3 donne les principales informations concernant les papiers étudiés (auteur, extension, type de nomenclature, méthode, taille des instances, gap, valeur de référence). Il est alors possible d'observer une large utilisation d'heuristiques niveau par niveau et de métaheuristiques telles que le recuit simulé ou les algorithmes génétiques. Il est possible de souligner la large taille des instances utilisées. Grâce à la relaxation de la contrainte de capacité, les heuristiques de sens communs sont en réalité très performantes. De plus, la date des papiers confirme que ce problème est un problème très actuel.

Auteurs	N°	Problème	Extension	Structure	Méthode	Taille maximale des instances	Gap	Valeur de référence
Afentakis et Gavich, 1986	2	MLLP		Général	B & B	3 X 5 X 12	0,4	BIP
Delleart <i>et al.</i> , 2002	18	MLLP		Général	GA	500 X 18 X 52	-	-
Delleart <i>et al.</i> , 2000	19	MLLP		Général	GA	500 X 18 X 52	-	BIP / MH
Jeunet et Jonard, 2005	43	MLLP	Sans Lead Time	Général	SA TS HC	200 X 3 X 24	-	MH
Tang, 2004	71	MLLP	Sans Lead Time	Série	SA	9 X 9 X 12	-	-
Vöros, 2002	79	MLLP	Sans Lead Time	Série	Li R	1 X 5 X 5	-	-
Kuik et Salomon, 1990	49	MLLP	Sans Lead Time	Général	SA	20 X 120 X 20		MH
Heinrich et Schneeweiss, 1986	37	MLLP	Sans Lead Time	Général	MH	-	-	-
Blackburn et Millen, 1982	10	MLLP	Sans Lead Time	Assemblage	MH	1 X 5 X 12	-	-
Blackburn et Millen., 1985	9	MLLP	Sans Lead Time	Série	MH	-	-	-

**Tableau 2-3. Approches de résolution pour le MLLP**

Concernant le MLCLSP, à l'instar du CLSP, la littérature est divisée en deux parties : celle se focalisant sur la prise en compte des setup time et l'autre les négligeant. Le tableau 2-4 présente des conclusions pour la résolution du MLCLSP très similaires à celles données pour le MLLP. Concrètement, peu de travaux étudient le MLCLSP dans sa forme initiale. Le recours à la relaxation lagrangienne et aux métaheuristiques semble prédominant.

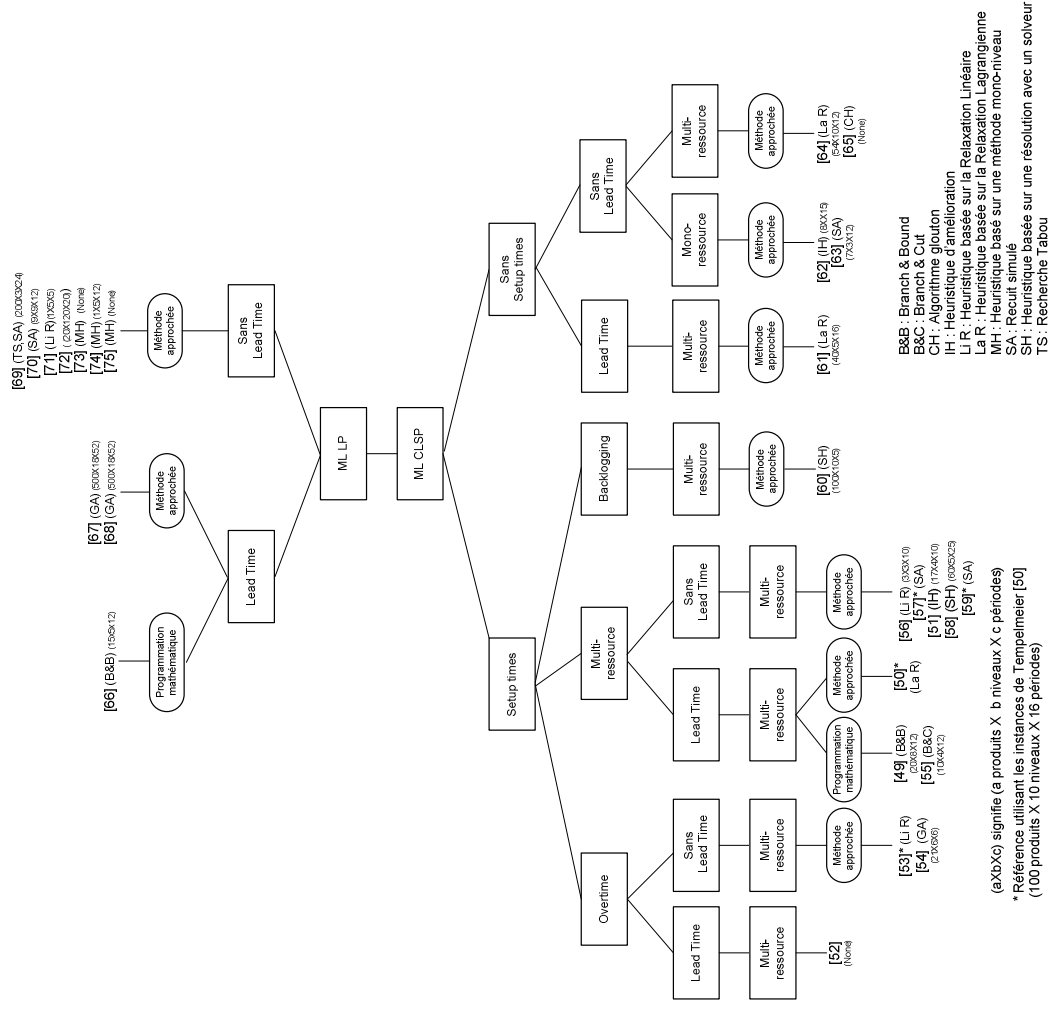


Figure 2-7. Classification des approches de résolution pour le MLCSP

Auteurs	N°	Problème	Extension	Structure	Méthode	Taille maximale des instances	Gap	Valeur de référence
Tempelmeier et Helber, 1994	73	MLCLSP	No Lead Time + Mono-resource No Lead Time + Mono-resource No Lead Time No Lead Time	Général	La R	40 X 5 X 16	2,0	LB
Roll et Karni, 1991	67	MLCLSP		Assemblage	IH	8 X X 15	0,8	BIP
Kuik <i>et al.</i> , 1993	50	MLCLSP		Assemblage	SA	7 X 3 X 12	0,23	LB
Chen et Chu, 2003	12	MLCLSP		Général	La R	54 X 10 X 12	-	SH
Kim et Hosni, 1998	47	MLCLSP		Général	CH	-	-	-

Tableau 2-4. Approches de résolution pour le MLCLSP

Les travaux dédiés au MLCLSP-ST et récapitulés dans le tableau 2-5 sont un peu plus nombreux. Néanmoins, compte tenu de la diversité des extensions, toujours aussi peu d'études comparatives peuvent être effectuées. Les auteurs traitant du MLCLSP avec setup time ont recours de la même manière à l'utilisation d'extensions telles que le « backlogging » ou « l'overtime ». Les méthodes de résolution utilisées sont essentiellement des heuristiques à base de relaxations lagrangiennes et de métaheuristiques.

Auteurs	N°	Problème	Extension	Structure	Méthode	Taille max. des instances	Gap	Valeur de référence
Billington <i>et al.</i> , 1983	7	MLCLSP-ST	Overtime	Général	-	-	-	-
Stadler, 1996	70	MLCLSP-ST	Overtime, No Lead Time	Général	Li R	100 X 10 X 16	1,6	BIP
Xie <i>et al.</i> , 2002	6	MLCLSP-ST	Overtime, No Lead Time	Général	GA	21 X 6 X 6	-	-
Billington <i>et al.</i> , 1986		MLCLSP-ST		Général	B & B	1 X 8 X 12	1,0	BIP
Clark et Armentano, 1995		MLCLSP-ST		Général	B & C	1 X 4 X 12	0,4	LB
Tempelmeier et Derstro, 1996	72	MLCLSP-ST		Général	La R	100 X 10 X 16	1,4	LB
Franca <i>et al.</i> , 1997	27	MLCLSP-ST	No Lead Time	Général	IH	17 X 4 X 10	0,8	LB
Maes <i>et al.</i> , 1991	54	MLCLSP-ST	No Lead Time	Série	Li R	3 X 3 X 10	-	-
Barbarosoglu et Özdamar, 2000	4	MLCLSP-ST	No Lead Time	Général	SA	100 X 10 X 16	-	-
Katok <i>et al.</i> , 1998	46	MLCLSP-ST	No Lead Time	Assemblage	SH	60 X 5 X 25	-	-
Özdamar <i>et al.</i> , 2000 (a)	63	MLCLSP-ST	No Lead Time	Général	SA	100 X 10 X 16	4,01	LB
Clark, 2002	14	MLCLSP-ST	Backlogging	Général	SH	100 X 10 X 5	-	-

Tableau 2-5. Approches de résolution MLCLSP-ST

Pour conclure, les travaux concernant le MLCLSP et ses extensions (MLLP et MLCLSP-ST) sont nombreux (27 papiers référencés). Parmi ces derniers, seuls deux modèles, le MLLP sans lead time et le MLCLSP-ST sans lead time et multi ressource, ont été étudiés par plus de 3 auteurs. Ainsi, la diversité des extensions utilisées et des instances rend très difficile la comparaison entre méthodes.

Concernant le MLLP, l'utilisation des heuristiques de sens commun semble très performante. Malgré la taille des instances traitées qui laisse supposer que ces méthodes sont performantes pour la résolution du MLLP dans un contexte industriel, l'absence d'études utilisant le même cadre expérimental nous empêche d'effectuer des comparaisons entre les approches proposées.

Concernant les deux autres modèles MLCLSP et MLCLSP-ST, le recours à des méthodes de type relaxation lagrangienne ou métaheuristiques a été privilégié de par leur complexité. Actuellement, les travaux sont trop peu nombreux et disparates pour déterminer la suprématie de telle ou telle méthode par rapport à une autre. Ce qui est certain c'est que la nécessité de poursuivre la recherche et le développement de ces méthodes pour la résolution de ces problèmes est réelle au vu des instances traitées.

Nous rappelons la signification des références, BIP : Meilleure solution connue, LB : Borne inférieure, SH : Solution entière donnée par un solveur en un temps limité, et MH : Solution entière donnée par une heuristique mono niveau.

## 2.7. MODELES DE LOT SIZING MULTI SITE

Le chapitre 1 a souligné l'intérêt de considérer les problèmes de planification tactique multi site. Selon (Fleishman *et al.*, 2001), la planification multi site consiste à concevoir les plans d'approvisionnement, de production et de distribution de chaque entité de la chaîne sur un horizon moyen terme. Les plans d'approvisionnement résident dans le choix des fournisseurs et dans les quantités de produits à approvisionner. La planification de la production consiste à déterminer les quantités produites par chaque entité ainsi que les quantités transférées d'une entité à une autre. Enfin, planifier la distribution consiste à déterminer les quantités de produits transférées aux entrepôts finaux de la chaîne logistique. Prendre en compte l'ensemble de ces trois activités au sein d'un même modèle se relève être une tâche complexe. Ainsi de nombreux travaux de la littérature restreignent leur étude en se focalisant sur une ou deux activités de la chaîne logistique.

Nos travaux se focalisant sur la planification de la production, nous concentrons notre état de l'art sur la planification de production multi site. Néanmoins, concernant l'approvisionnement et la distribution, les lecteurs peuvent se référer respectivement aux travaux de (Torabi *et al.*, 2007) et (Hassini., 2006) ainsi qu'à ceux de (Kanyalkar *et al.*, 2005). Les problématiques de planification de production mono site et multi site diffèrent essentiellement au niveau des contraintes de transport et d'allocation de stock. En effet, la problématique de planification multi site réside non seulement dans la prise en compte d'une nomenclature pour chaque produit fini considéré mais également dans la prise en compte de l'affectation de la production des produits aux usines et des liens d'approvisionnement et de livraison entre chaque entité.

L'étude de la littérature nous montre qu'une grande partie des travaux limite la nomenclature des produits considérés à un seul niveau. Dans ce cas, le réseau de la chaîne logistique est constitué d'un ensemble d'usines parallèles fabriquant des produits finis. Ces modèles sont nommés CLSLP pour Capacitated Lot Sizing and Loading Problem. Ces derniers ont été étudiés par de nombreux auteurs : (Garavelli, 1996), (Guinet, 2001), (Pirkul *et al.*, 1998), (Fleishman *et al.*, 2003), (Kanyalkar *et al.*, 2005), (Sambasivan *et al.*, 2005) et (Aliev *et al.*, 2007).

Dans le cas où la nomenclature des produits considérés n'est pas limitée à un seul niveau, le modèle de planification doit, par l'intermédiaire de la contrainte de conservation des stocks, prendre en compte l'affectation de l'ensemble des produits (finis ou non) sur l'ensemble des entités composant la chaîne logistique. Les liens entre entités sont donc considérés et peuvent faire l'objet de contraintes limitant le transport sur ces derniers.

Communément, la contrainte de conservation de stock d'un problème de planification multi site pour un produit  $i$  sur une entité  $k$  s'exprime en fonction de :

- la quantité de produit  $i$  fabriquée sur l'entité  $k$  à la période  $t$ ,
- la quantité de produit  $i$  stockée sur l'entité  $k$  à la période  $t-1$ ,
- la quantité de produit  $i$  envoyée à partir de cette entité  $k$  à l'ensemble des autres entités à la période  $t$ ,
- la quantité de produit  $i$  reçue par l'entité  $k$  de l'ensemble des autres entités à la période  $t$ ,
- la quantité de demande externe de produit  $i$  satisfaite à la période  $t$ .

Les états de l'art concernant la planification de production multi site sont étrangement peu nombreux. En effet, même si (Rizk et Martel, 2001) proposent un état de l'art des modèles de lot sizing dédiés à la planification des chaînes logistiques, il ne présente pas leur applicabilité. (Vob *et al.*, 2003) présentent dans son ouvrage la quasi-

totalité des modèles mono site. Malheureusement, le chapitre concernant la planification multi site se limite à l'énoncé de contraintes de transport et aucun modèle de planification multi site n'est présenté.

Notre étude de la littérature nous permet de définir l'existence de cinq modèles de planification multi site pouvant être considérés comme générique :

- (Thierry et al., 1994) proposent une contrainte de conservation des stocks prenant en compte la quantité produite par une entité, les quantités transférées à partir de cette entité et reçues par cette entité ainsi que la demande externe. Aucun centre de distribution n'est considéré et les clients sont satisfaits directement par les usines.
- (Mc Donald et Karimi, 1997) utilisent une contrainte de conservation des stocks très voisine de celle de (Thierry et al., 1994). Néanmoins, la quantité livrée d'un produit durant une période  $t$  par une entité aux autres entités est supposée égale à la somme des quantités produites dans les autres entités à la période  $t+1$ . Cette contrainte est donc moins générique puisqu'elle suppose que les produits ne peuvent être stockés en amont des entités. De plus, aucun centre de distribution n'est considéré et les clients sont satisfaits directement par les usines.
- (Timpe et Kallrath, 2000) proposent un modèle dérivé d'un modèle de planification d'une industrie chimique. Néanmoins, les contraintes de conservation de stock, de distribution et de transport sont exprimées de manière à être utilisées dans les industries de process. Des modes de production et des tailles de lots différents sont considérés pour adapter ce modèle à l'industrie chimique. Des points de ventes similaires à des entrepôts sont considérés.
- (Pibernic et al., 2007) présentent un modèle comme générique pour la planification des chaînes logistiques. Ils modélisent le réseau de la chaîne logistique par une succession d'étages. Ce modèle s'avoisine donc à un modèle de flow shop hybride. Les centres de distribution sont aisément considérés et les clients sont satisfaits directement par les usines ou par les centres de distribution. Néanmoins, considérer le réseau de la chaîne logistique par une succession d'étages limite l'allocation des produits aux entités des réseaux.
- (Lin et al., 2007) présentent un modèle tiré d'un cas d'étude de l'industrie électronique. Le réseau de la chaîne logistique est modélisé par étage et la contrainte de conservation des stocks est très proche de celle de (Mc Donald et Karimi, 1997). L'approvisionnement en matières premières et en composants ne peut provenir que d'entités extérieures. Par conséquent, même si la nomenclature considérée est multi niveau et convergente, la nomenclature considérée dans le modèle est seulement linéaire. Enfin, aucun centre de distribution n'est considéré.

Ainsi, à notre connaissance, malgré leur qualité, ces modèles n'ont pas été étudiés par d'autres auteurs (excepté celui de (Mc Donald et Karimi, 1997) par (Gupta et Maranas, 2003)). Par conséquent, malgré leur caractère générique, aucun modèle ne peut être défini comme modèle de référence.

Concernant l'optimisation de ces problèmes de planification multi site, (Thierry *et al.*, 1994) utilisent la programmation par contrainte sur des instances de taille industrielle. Mais, aucune comparaison pertinente avec d'autres méthodes n'est donnée. (Mc Donald et Karimi, 1997) résolvent deux instances avec les solveurs OSL et Ilog Cplex. La taille des instances est pour la première 2 usines, 14 produits et 4 périodes, et pour la seconde 1 usine, 34 produits et 12 périodes. Pour chaque instance, le gap par rapport à une borne inférieure est donné. Néanmoins, les résultats sont trop peu nombreux pour en déduire des conclusions sur les approches de résolution. A partir du même modèle, (Gupta et Maranas, 2003) focalisent leurs travaux sur la prise en compte de critères incertains mais ne tentent pas de résoudre de manière optimale ce modèle. (Timpe et Kallrath, 2000) utilisent pour la résolution de leur modèle le solveur Xpress. La taille des instances est de 12 périodes, 4 usines, et 200 périodes. La première solution trouvée dans le cadre de 10 minutes de résolution est considérée. (Lyn *et al.*, 2007) utilisent quant à eux le solveur Lingo. La taille de ces instances est de 2 produits, 6 usines et 3 niveaux de nomenclature. Cependant, aucune information concernant les temps de résolution et la qualité des résultats n'est donnée. (Pibernic *et al.*, 2007) se focalisent sur les problèmes de collaboration. Aucune approche de résolution n'est mentionnée.

Avant de conclure sur les modèles de planification multi site, nous désirons souligner que le modèle MLCLSP présenté dans la section précédente, bien qu'étant un modèle multi niveau et multi ressource, n'est que très rarement employé pour la modélisation de la planification des chaînes logistiques. La contrainte (9) du modèle MLCLSP suppose en effet qu'un produit soit fabriqué sur une seule et même usine. Elle suppose qu'un produit peut être consommé par deux ou plusieurs ressources mais ces dernières appartiennent forcément à la même usine. Il n'existe pas donc de variables qui déterminent la quantité de produit  $i$  fabriquée sur une usine  $k$ . Or, dans la majorité des chaînes logistiques, chaque produit peut être fabriqué sur une ou plusieurs usines qui elles-mêmes fabriquent un ou plusieurs produits. En d'autres termes, un problème d'allocation de production s'ajoute au problème de planification. Ce manque de flexibilité au niveau de cette contrainte ne permet donc pas au MLCLSP de modéliser la planification d'une chaîne logistique pour un cas de production multi site. Néanmoins,

si on considère une chaîne logistique où la nomenclature des produits est linéaire et où chaque produit est fabriqué sur une et une seule usine, dans ce cas, le modèle MLCLSP modélise parfaitement le problème de planification de cette chaîne logistique sans contrainte de transport. Néanmoins aucun article étudiant le modèle MLCLSP référencé n'utilise des instances le présentant comme un modèle de planification des chaînes logistiques.

L'état de l'art que nous proposons nous permet de conclure qu'aucun modèle de la littérature ne peut être considéré comme un modèle de référence pour la problématique multi site au contraire des modèles CLSP et MLCLSP pour les problématiques PDP et MRP. Concernant la résolution de ces problèmes, l'absence d'un modèle étudié par plusieurs auteurs ne nous permet pas d'en déduire des conclusions pertinentes. Néanmoins, il est possible de relever que la majorité des travaux se limite à utiliser des solveurs et ne propose pas de méthodes de résolution dédiées.

## 2.8. REMARQUES SUR LES INSTANCES

La littérature présentée précédemment a souligné un manque évident d'homogénéité des instances utilisées. Il nous paraît de plus opportun de souligner l'importance du paramétrage de ces instances au vu de la complexité de résolution des problèmes. En effet, les instances de lot sizing sont remarquables par le fait qu'elles nécessitent que soient spécifiées de nombreuses données. Pour le MLCLSP, les données sont les suivantes :

- nombres de périodes,
- nombres de produits,
- nombres d'usines,
- affectation des produits aux usines,
- demande par période et par produit,
- capacité des usines par période,
- coût de stockage par produit et par période,
- coût de lancement par produit et par période,
- coût de production par produit par période,
- coût de demande perdue par produit et par période (extension shortage).

Selon nous, le paramétrage de ces données définit une complexité de résolution des instances plus ou moins élevée. En effet, considérer des instances où les capacités des usines sont très supérieures à la demande revient à relaxer la contrainte de capacité. De même, la complexité de résolution du MLCLSP sera fortement modifiée par le paramétrage des coûts. Supposons le cas académique et irréaliste où le coût de production est très largement supérieur aux autres coûts, la solution optimale du problème de planification est donc de ne produire aucun produit. De même, si le coût de stockage est très important face aux autres coûts, des heuristiques lissant la production seront alors très performantes, l'objectif étant de limiter au maximum le recours au stockage. Mais, dans le cas où les coûts de lancement sont très importants, ces heuristiques vont alors être très peu performantes comme l'illustre leur faible utilisation dans les modèles avec setup times.

Si l'importance des instances est connue et reconnue par la communauté scientifique, très peu d'auteurs décrivent et classifient leurs instances. Il nous semble alors primordial que les futurs travaux spécifient le type d'instance traité de manière à savoir si un contexte sous capacitaire est supposé ou non, si les coûts logistiques sont proches ou bien que l'un d'entre eux est majoritaire. Un tel travail pourra ainsi faciliter la connaissance des réelles performances des méthodes de résolution.

## 2.9. CONCLUSION

L'état de l'art présenté précédemment sur les modèles et l'optimisation de modèles de lot sizing nous permet de tirer les conclusions suivantes.

Concernant la modélisation des problèmes de planification tactique, le modèle CLSP permet la modélisation de problèmes de type PDP, et par extension du PIC. Concernant l'approche MRPII, le modèle MLCLSP permet la modélisation de la synchronisation horizontale entre composants et produits finis. Par contre, aucun modèle de référence n'a été identifié pour la problématique master planning, même limitée à une certaine topologie de chaîne logistique précise. Seule l'utilisation du MLCLSP pour une chaîne logistique dont les produits ont une nomenclature linéaire et où chaque produit est fabriqué sur une seule usine a été soulignée. Néanmoins aucun travail mentionnant directement l'utilisation du MLCLSP comme modèle multi site n'a été trouvé.

Concernant l'optimisation des modèles CLSP et MLCLSP, la présence de nombreux travaux souligne le réel intérêt de la communauté scientifique pour ces deux problèmes. Parmi les approches utilisées, les méthodes approchées sont largement utilisées par rapport aux approches exactes ; ceci est dû à la complexité des modèles qui limite les approches mathématiques à la résolution d'instances très petites. Ainsi les heuristiques de sens

commun pour les modèles sans contrainte de setup paraissent très performantes comme en témoigne la taille des instances utilisées pour le problème MLLP. La prise en compte de la contrainte de setup entraîne pour ces problèmes un problème de faisabilité NP-complet qui rend caduque l'utilisation d'heuristiques. Dans ce cas, deux grands types de méthodes sont employés : les relaxations lagrangiennes et les métaheuristiques de type algorithmes génétiques, recuit simulé ou encore recherche tabou. Les relaxations lagrangiennes ont alors l'avantage par rapport aux métaheuristiques de relaxer la contrainte de capacité et de donner des résultats prometteurs (Du merle *et al.*, 1997). Néanmoins et (Karimi *et al.*, 2003) le souligne, les métaheuristiques sont des méthodes encore peu utilisées pour la résolution de ce type de problème. La difficulté majeure soulevée par ces méthodes est liée à l'accessibilité des solutions. Le recours à des procédures de réparation pour surpasser ce problème semble néanmoins une solution qui rend ces méthodes prometteuses.

Concernant la comparaison et la détermination des performances des méthodes utilisées, celles-ci sont très difficilement réalisables compte tenu d'une inhomogénéité des études concernant les modèles et les instances utilisés. Ainsi pour des modèles identiques, très peu de travaux ont recours à des instances de référence et beaucoup utilisent leurs propres instances et valeur de référence. De plus, pour les modèles supposant une contrainte de setup, de très nombreux auteurs ont proposé des extensions permettant de surmonter le problème de faisabilité; ceci entraînant une diversité des travaux encore plus importante. Ainsi pour des raisons de pertinence, aucune conclusion comparative sur la performance des méthodes n'a été donnée.

Pour conclure, cet état de l'art permet de montrer que malgré l'intérêt réel de la communauté scientifique pour ces modèles, notamment du à leur intégration dans les logiciels de type APS, un manque d'homogénéité des travaux ne permet pas d'appréhender concrètement les possibilités actuelles des méthodes pour la résolution de problèmes de planification tactique.

### **3. LES PROBLEMATIQUES DE LA PLANIFICATION TACTIQUE NON LIEES A L'OPTIMISATION**

#### **3.1.INTRODUCTION**

Comme mentionné précédemment, les problèmes de planification mettent en jeu des problèmes de modélisation du système physique de production et de gestion de la demande. Afin d'avoir recours à des méthodes d'optimisation pour la génération de plans tactiques, de nombreux modèles mathématiques ont été élaborés pour répondre aux problématiques de PIC, PDP et MRP. L'élaboration de ces modèles, à laquelle s'ajoute le développement de méthodes d'optimisation, constitue la majeure partie de la littérature concernant la planification tactique. Ainsi une partie de la littérature concernant la planification s'est axée sur la formalisation de celle-ci par des modèles mathématiques, donnant lieu à de nombreuses classifications des différents types de problèmes traités. L'objectif de ces modèles étant de fournir, par diverses techniques de résolution, une solution optimale de ces problèmes, leurs développements sont donc intimement liés à l'élaboration d'outils de résolution spécifiques (méthodes exactes ou approchées).

Néanmoins, la problématique de la planification tactique ne se résume pas seulement à la génération de plans optimaux. Comme mentionné précédemment, la littérature concernant la problématique de planification tactique se focalise sur des problèmes majeurs que sont :

- l'intégration verticale consistant à étudier la cohérence entre les plans hiérarchisés. En d'autres termes, le but de ces études est de générer des plans réalisables au niveau des plans inférieurs.
- la robustesse. Ce problème réside à étudier la robustesse des plans érigés face à la prise en compte d'aléas sur l'horizon de planification.

Ainsi afin d'obtenir une compréhension globale de la planification tactique, nous nous proposons dans la section suivante de donner un état de l'art synthétique concernant ces deux axes d'étude.

#### **3.2.SYNCHRONISATION VERTICALE**

En considérant l'approche hiérarchisée de la planification tactique et l'impossibilité de modéliser l'ensemble des contraintes opérationnelles à un niveau de modélisation agrégé, une partie de la littérature étudie la réalisabilité au niveau inférieur des plans de production. En effet, étant donné que ces modèles servent de cadre pour ceux de niveau inférieur, il est pertinent d'étudier si la planification élaborée à partir d'une capacité agrégée est réalisable au niveau inférieur.

Traditionnellement, la détermination d'un plan de production se fait au travers de modèles mathématiques prenant comme paramètre des capacités estimées du système de production. La faisabilité du plan élaboré est vérifiée en tentant d'ordonnancer la production déterminée. Par suite, la planification et l'ordonnancement sont traités séquentiellement et indépendamment l'un de l'autre (Buxey, 1989). Or, nous avons souligné la difficulté



d'assurer la cohérence entre ces deux niveaux : les capacités du système sont évaluées beaucoup trop grossièrement et, comme le soulignent (Dauzère-Pérès et Lasserre, 2002), dépendent également de l'ordonnancement des opérations et des ressources. C'est ainsi que diverses stratégies ont été développées pour tenter de pallier à cette carence. Dans la littérature, nous pouvons distinguer trois types d'approche.

La première consiste à intégrer des contraintes opérationnelles dans le modèle de planification tandis que les autres visent à estimer les capacités réelles du système de production en utilisant un modèle de simulation afin de décrire au mieux le comportement du système. La première approche initiée par (Dauzère-Pérès *et al.*, 1994) consiste à intégrer des contraintes opérationnelles au modèle de planification. Plus précisément, ils proposent une approche intégrée de planification et d'ordonnancement s'appuyant sur un couplage de deux blocs, l'un déterminant un plan de production  $X(y)$  pour un ordonnancement  $y$  fixé, l'autre déterminant un ordonnancement  $Y(x)$  pour un plan de production  $x$  fixé. Le principe de fonctionnement est le suivant : pour un ordonnancement fixé, le module de planification construit un plan de production optimal respectant ce séquençement. Le plan déterminé est envoyé dans le module d'ordonnancement afin d'obtenir le meilleur ordonnancement possible permettant de le réaliser : le temps ainsi libéré permettra de planifier la production d'autres articles au niveau du module de planification. Cette procédure s'arrêtera soit lorsque la demande aura été intégralement planifiée, soit lorsque l'ordonnancement obtenu dans le module d'ordonnancement n'évoluera plus (on ne pourra plus gagner de temps). Les auteurs soulignent la modularité de leur méthode : chaque bloc agit comme une « boîte noire » vis-à-vis de l'autre. Ils sont indépendants et communiquent par fichier. La convergence de la procédure vers un optimum local a été démontrée dans le cas idéal où le module d'ordonnancement calcule une solution optimale, ce qui n'est pas le cas en pratique. Néanmoins, testée sur un échantillon de problèmes académiques, leur méthode a donné de très bons résultats en peu d'itérations. (Wolosewicz *et al.*, 2006) ont étendu cette approche pour prendre en compte les temps de reconfiguration du système de production. Soulignons tout de même que, dans cette approche, les auteurs n'estiment pas les capacités du système mais assurent la faisabilité de la planification par l'intégration du séquençement de la production au cœur même du bloc de planification. Cependant, il n'est pas inutile de remarquer que le plan déterminé ne sera réalisable au niveau ordonnancement qu'à la condition qu'il soit ordonné de façon optimale, ce qui semble peu probable dans la pratique.

La seconde approche est illustrée par (Byrne et Bakir, 1999) et (Byrne *et al.*, 2005). Elle s'appuie sur le couplage entre un modèle mathématique de planification et un modèle de simulation censé décrire au mieux le fonctionnement de l'atelier. Le principe de fonctionnement est le suivant : le modèle de planification prend en paramètre la demande et la capacité du système. Il élabore un planning optimal (en termes de coût). Ce dernier est passé en paramètre au modèle de simulation. Celui-ci vérifie si le planning proposé est réalisable. Dans le cas contraire, les capacités sont réévaluées en fonction des résultats obtenus par le modèle de simulation. Cette approche a été reprise par (Kim *et al.*, 2001) qui utilisent un modèle de planification multi ressource ainsi que les statistiques obtenues par le modèle de simulation afin de réajuster la capacité de chaque ressource indépendamment. Enfin (Gnoni *et al.*, 2003) utilisent le même concept en l'élargissant à la planification d'une Supply Chain. Cependant, (Byrne et Bakir, 1999) soulignent que cette approche ne garantit pas la convergence vers une solution mais remarquent que sur les instances qu'ils ont traitées, celle-ci a été obtenue assez rapidement. De plus, les auteurs mettent en exergue le fait de pouvoir intégrer des événements aléatoires grâce à l'utilisation de la simulation.

(Gourgand *et al.*, 2007) proposent une approche voisine de celle de (Byrne et Bakir, 1999) en couplant trois modèles mathématiques. Le premier modèle mathématique génère un plan de production. Celui-ci est chaîné à un second modèle d'ordonnancement dont l'objectif est de trouver une solution d'ordonnancement réalisable en considérant le plan de production précédemment généré. Si ce dernier trouve une solution réalisable, alors la procédure de chaînage s'arrête et conclut qu'il existe au moins une solution qui permet de mettre en œuvre le plan de production généré. Si aucune solution réalisable n'est trouvée, alors un troisième modèle d'ordonnancement est lancé de manière à ordonner le plan de production au-delà de l'horizon considéré afin d'estimer une nouvelle capacité de production pour le modèle de planification. Ce processus est alors lancé itérativement jusqu'à obtenir un ordonnancement réalisable du plan de production généré.

Les trois approches présentées sont de philosophies très différentes. La première s'appuie sur l'intégration des contraintes opérationnelles au niveau du modèle de planification pour élaborer une solution robuste. Ainsi, la capacité n'est pas réestimée et la convergence est assurée si le module d'ordonnancement est capable de fournir systématiquement un ordonnancement optimal pour la production demandée. Cela implique l'utilisation de cet ordonnancement au niveau opérationnel pour assurer la faisabilité du planning de production, ce qui constitue une hypothèse assez improbable. Les deux dernières approches se rejoignent par l'utilisation d'un couplage entre un modèle d'optimisation et un autre modèle de simulation ou mathématique : elle fournit une solution robuste en réestimant les capacités de production. Dans le cas de (Byrne et Bakir, 1999), l'ordonnancement utilisé par le modèle de simulation n'étant pas optimal, cela laisse plus de latitude au niveau opérationnel pour réaliser la production demandée. Les travaux de (Lemoine *et al.*, 2007) sont très intéressants mais contrairement à l'approche de (Byrne et Bakir, 1999) qui simulent plusieurs fois le plan de production sous différents contextes (pannes, etc.), (Lemoine *et al.*, 2007) n'assurent que la faisabilité de l'ordonnancement en trouvant une seule

solution. La perspective de ces travaux consiste donc non plus à trouver une solution réalisable mais à estimer la probabilité de faisabilité de l'ordonnancement, rendant la solution générée robuste.

Les précédents travaux soulignent la difficulté d'estimer la capacité de production ou de transport au niveau des plans de production et donc la vulnérabilité des solutions proposées.

### 3.3. PRISE EN COMPTE DE L'INCERTAIN

Le second grand axe d'étude après les travaux concernant la synchronisation verticale réside dans la prise en compte de critères incertains dans la génération des plans tactiques. En effet, la planification tactique s'inscrit dans un contexte aléatoire et instable (modifications des prévisions, pannes majeures, etc.). La prise en compte de l'incertain ou des incertitudes est regroupée sous différents termes. Ainsi (Durieux *et al.*, 2007) dans leur document de synthèse listent 7 critères permettant de qualifier le comportement d'une chaîne logistique face à des aléas incertains : la fiabilité, la flexibilité, l'agilité, la résilience, la robustesse, la stabilité / la nervosité, et la sensibilité.

Parmi ces critères, ceux de robustesse et de stabilité sont les critères les plus souvent étudiés. Ainsi, une partie de la littérature considère qu'il est préférable de rechercher la stabilité et la robustesse d'une solution plutôt que son optimisation (Van Landeghem et Vanmaele, 2002). Ainsi (Génin, 2004), concernant le PIC, conclut : « Le PIC devient ainsi l'instance de réflexions qui oriente les décisions pour rendre robuste la stratégie proposée par le modèle selon les conditions données. L'outil d'aide à la décision doit donner une réponse moyenne qui sera la meilleure possible pour plusieurs ensembles de conditions. Le PIC ne sera pas alors optimisé au sens mathématique mais variera peu lors d'une modification des paramètres. »

(Génin, 2004) distingue les termes de stabilité et de robustesse. Il définit ainsi « qu'un plan est stable si et seulement si le nombre de modifications dans les niveaux des variables de décisions entre deux établissements successifs de ce plan reste inférieur à un niveau « convenable » pour le gestionnaire » et « un plan de robuste si et seulement s'il fournit une faible dispersion de ses caractéristiques malgré les fluctuations perturbatrices des facteurs non contrôlables ». Pour lui, un plan tactique ne peut être performant que s'il est stable et robuste.

Le mode de fonctionnement le plus commun pour assurer la pertinence de la planification tactique face aux aléas est le recours à un mode de planification dit à horizon glissant (Vollmann *et al.*, 1997). Dans le cas d'un PDP élaboré sur 3 mois, le plan de production est redéfini chaque semaine sur un horizon entier de trois mois. Le but de ce fonctionnement est donc de prendre en compte les modifications et de régénérer un plan optimum. La stabilité est alors assurée en considérant une période de planification gelée où les décisions ne peuvent plus être remises en cause. Plus précisément, (Vollmann *et al.*, 1997) définissent les périodes figées, négociables et libres. Le but de ces périodes est d'assurer la pertinence des plans proposés sans pour autant créer une trop grande instabilité. Ceci a pour but de limiter les coûts générés par la replanification.

(Génin, 2004) propose de limiter ces coûts en utilisant une méthode dite de planification par plan de référence. Le but de cette dernière est de considérer à chaque période un plan de référence qui limite la replanification de période en période en considérant les coûts dus au changement entre chaque planification. Un plan compromis est alors généré en tenant compte du plan optimal et du plan actuel de référence. Ces travaux ont été étendus par (Saint de Ugarte *et al.*, 2005) en intégrant la logique floue dans les plans de référence.

La littérature étudie d'autres méthodes pour assurer la robustesse et la stabilité des solutions générées. Les principales concernent l'analyse de sensibilité, l'optimisation stochastique et la logique floue. Le but de ces méthodes est de générer des solutions dont la performance sera stable malgré la modification limitée du contexte. Ces méthodes bien que prometteuses ne permettent pas néanmoins aujourd'hui de traiter des problèmes de planification tactique de taille industrielle (Gupta et Maranas, 2003).

## 4. OUTILS ET METHODES DU SUPPLY CHAIN COSTING POUR L'EVALUATION DES PERFORMANCES

Le chapitre 1 a présenté l'intérêt de lier les processus de planification des flux physiques à celui de budgétisation à un niveau tactique. Le but est de planifier les flux physiques à moyen terme en optimisant ou tout du moins en garantissant une satisfaction managériale minimale pour les acteurs de la chaîne logistique. D'un point de vue financier, la satisfaction managériale se traduit par l'optimisation de la valeur dégagée par la chaîne logistique le plus souvent sous forme de flux financiers. Au niveau de la planification des flux physiques, ces critères sont traduits traditionnellement par la minimisation des coûts (le plus souvent de stockage) et la maximisation de la satisfaction client. La minimisation des coûts de stockage et de production a ainsi comme but de traduire implicitement la diminution des dépenses ainsi que l'argent immobilisé tandis que la satisfaction client correspond intuitivement aux recettes dégagées par l'entité considérée.

Traditionnellement, le processus de budgétisation fait suite au processus de planification à un niveau tactique. C'est pourquoi nous pensons qu'il est pertinent d'intégrer les deux processus en traduisant la planification des flux physiques directement en flux financiers.

Les sections 2 et 3 de ce chapitre s'étant focalisées sur la planification tactique du flux physique, nous proposons dans celle-ci un état de l'art sur la prise en compte des flux financiers au niveau de la chaîne logistique. Celui-ci consiste dans un premier temps à présenter le supply chain costing dans son ensemble. Dans un second temps, nous présentons de manière plus détaillée le modèle de coût ABC, modèle de base du supply chain costing. Enfin, nous présentons un état de l'art des principaux travaux concernant l'adaptation du modèle ABC au niveau du processus de planification tactique.

#### 4.1.SUPPLY CHAIN COSTING

Dans la littérature, le Supply Chain Costing est considéré comme une synthèse des approches du contrôle de gestion appliquées ou applicables dans un contexte logistique. Ainsi (Goldbach, 2002) présente le Supply Chain Costing comme l'extension du contrôle de gestion sur l'ensemble de la chaîne logistique dans le cadre du SCM. Le Supply Chain Costing est basé principalement sur deux outils :

- Les tableaux de bords qui, par la sélection d'indicateurs de performance, permettent la formalisation et la structuration de l'information décisionnelle pour l'ensemble des flux de la chaîne logistique.
- La méthode Activity Based Costing (ABC), qui par son intégration à d'autres techniques managériales, permet de révéler la formation des coûts de la chaîne logistique et de valoriser de façon monétaire la performance. Cependant, cette méthode ne permet pas en l'état de connaître le niveau attendu pour le flux financier, mais produit de l'information sur les niveaux de profits et de coûts générés par la chaîne logistique (Seuring, 1999).

Compte tenu de notre problématique basée sur l'évaluation financière des flux physiques, nous focaliserons cette section sur l'utilisation et la justification de la méthode ABC pour l'évaluation des coûts au sein d'une chaîne logistique.

##### 4.1.1. L'INTEGRATION DU MODELE DE COUT ABC POUR LE SUPPLY CHAIN COSTING

Initialement, le contrôle de gestion a été défini par (Anthony, 1988) comme « un processus par lequel les managers s'assurent que les ressources sont obtenues et utilisées de manière efficace et efficiente pour réaliser les objectifs de l'organisation ». Cette science a émergé au milieu du 20ème siècle et fait suite au besoin de contrôler par des valeurs monétaires les organisations de l'entreprise. Le contrôle de gestion comprend plusieurs outils :

- la comptabilité de gestion (analyse des coûts),
- la gestion et le contrôle budgétaire (élaboration des budgets et écarts),
- les tableaux de bord.

La comptabilité de gestion consiste à analyser les différentes charges d'une entreprise et à les imputer à une entité (produit, atelier, usine, etc.) pour aboutir à la définition d'un coût. Cette dernière est basée sur plusieurs méthodes pour effectuer l'analyse des coûts qui diffèrent toutes suivant l'objectif et la nature de l'étude pour laquelle elles sont employées (détermination de coût de revient, de coût standard, de budget, de seuil de rentabilité, etc.).

Au sein d'une entité, les charges sont identifiées comme directes ou indirectes par rapport à un objet. En effet, la notion de charge directe et indirecte n'a de sens que si l'objet du coût est spécifié. Par exemple, le salaire d'un responsable d'atelier est une charge directe pour l'entité atelier mais représente une charge indirecte pour un des produits de l'atelier qu'il dirige. Les charges d'une entité sont par ailleurs générées à partir de consommation de ressources (énergie, salaire, assurance, matières premières, amortissement, etc.). Par conséquent, la consommation des ressources ou tout du moins une partie, peut être considérée comme directe et indirecte suivant l'objet d'analyse pris en compte. L'objectif de notre étude est d'estimer les dépenses d'une BU générée par un ou plusieurs flux physiques. Elle consiste donc à estimer la consommation directe ou indirecte des ressources par le flux physique. Ainsi, l'objet de rattachement des coûts sera donc le flux physique représenté par les variables d'un modèle de planification tactique ordinaire c'est-à-dire les quantités fabriquées, vendues ou achetées. La complexité de l'analyse de coût réside en partie sur l'évaluation de la consommation indirecte des ressources.

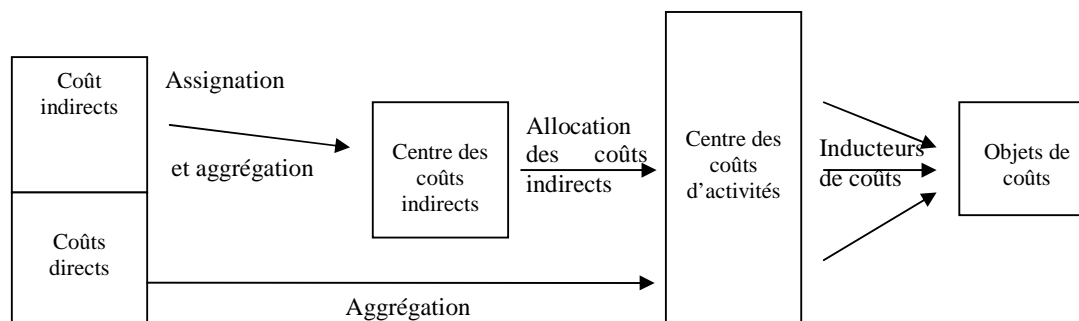
En contrôle de gestion, plusieurs méthodes ont été développées pour permettre l'imputation des charges indirectes. Deux méthodes majeures s'opposent, la méthode à coût complet et la méthode de coût ABC. La méthode des coûts complets répartit les charges indirectes au moyen d'une logique de répartition basée sur le découpage hiérarchique de la firme. La méthode ABC, postérieure à la méthode de coût complet et définie par (Cooper et Kaplan, 1991) s'oppose à cette méthode en préconisant une répartition des coûts basée sur l'analyse d'activités majeures de l'entreprise évaluée à partir d'inducteurs de coûts. La méthode ABC, reconnue comme permettant une meilleure imputation des charges indirectes, est ainsi devenu un standard pour l'évaluation des

processus d'entreprises dans les pays anglo-saxons, et un standard de l'enseignement dans les disciplines de gestion comptable dans les autres pays occidentaux.

Nous rappelons succinctement le principe de fonctionnement de la méthode ABC et montrons l'intérêt de son utilisation dans le contexte du Supply Chain Costing.

#### 4.1.2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA METHODE ABC

La méthode ABC est ainsi basée sur la valorisation des processus qui permet de répondre au défi de la justification de la prise en compte d'éléments indirects en identifiant un lien causal entre le flux physique et la ressource consommée par le processus ou l'activité d'entreprise. La figure 2-8 adaptée de (Shapiro, 1999) explique le mécanisme d'imputation des charges directes et indirectes sur l'objet de coût.



**Figure 2-8. Méthodologie ABC (Shapiro, 1999)**

La figure précédente se focalise sur l'explication de l'imputation des charges indirectes. La figure 2-9 qui est adaptée de diverses présentations de la méthode ABC dans la littérature (Mevellec, 1990 ; Cooper et Kaplan, 1991 ; Lorino, 2001 ; Bouquin, 2001) permet de rattacher l'imputation des charges à la consommation directe et indirecte des ressources.

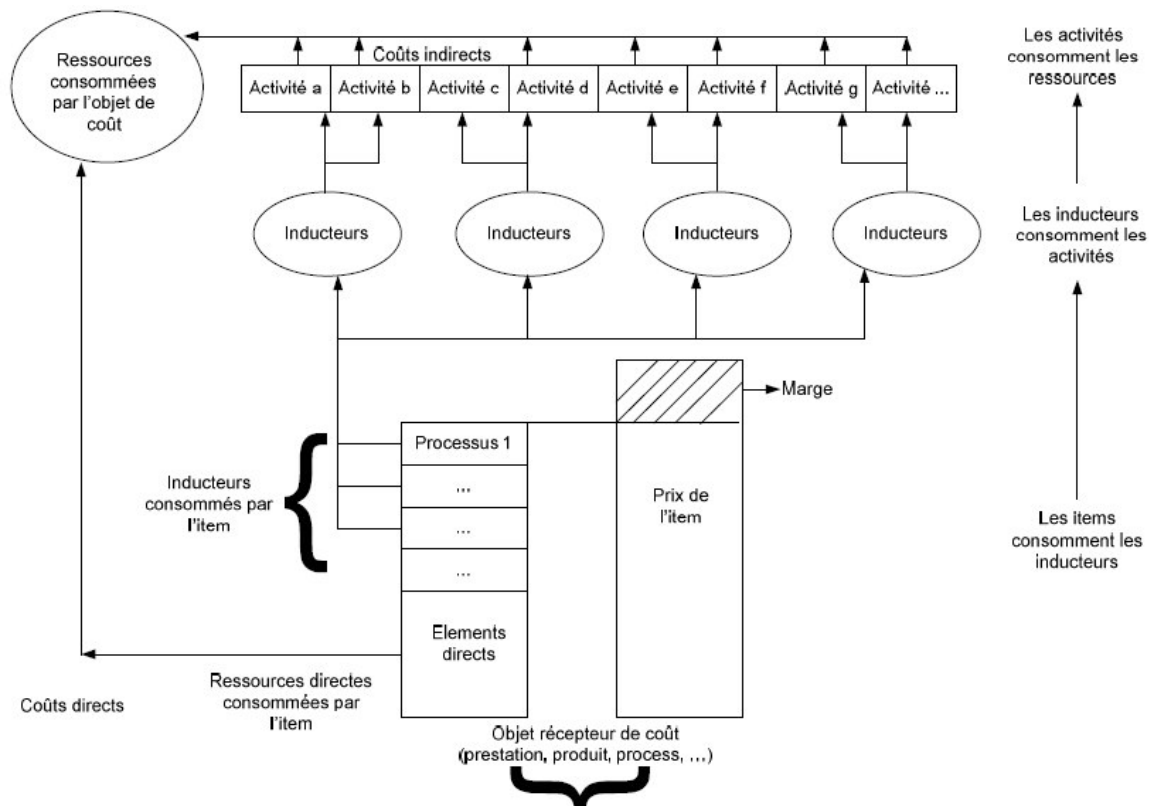
Ainsi, la grande force du modèle ABC réside dans la modélisation réalisée des processus pour mettre en place le système de valorisation. En effet, pour chaque processus, un ou plusieurs inducteurs de coûts (cost driver) sont identifiés et constituent l'unité de mesure de l'activité. Plus un flux physique consomme un grand volume d'inducteurs, plus ce dernier consomme des activités et donc des ressources indirectes à l'item. En identifiant les inducteurs par la modélisation des processus, puis en évaluant le fonctionnement de l'entité, le système ABC explique la formation des coûts de revient pour un item quelconque et procure d'avantage de leviers d'action pour baisser les consommations de ressources indirectes que les autres systèmes de costing.

#### 4.1.3. INTERET DE L'APPROCHE ABC POUR L'EVALUATION MONETAIRE DES ACTIVITES DE LA SUPPLY CHAIN

L'intérêt de l'approche ABC pour la planification tactique de la chaîne logistique se situe à quatre niveaux :

- le modèle ABC est suffisamment générique pour pouvoir expliquer la formation des coûts dans n'importe quel système organisationnel humain (Tham, 1999), donc par extension expliquer la formation des coûts dans une chaîne logistique;
- les autres techniques de comptabilité de gestion constituent une instance (Tham, 1999) de la méthode ABC : implanter conceptuellement ABC d'un point de vue logiciel permettra ensuite de paramétrer les autres méthodes de comptabilité de gestion si l'utilisateur le désire;
- l'approche par processus contenue dans ABC a permis de proposer des modèles permettant d'expliquer la formation des coûts dans différents contextes logistiques :
  - coûts de transport (Pirttilä et Hautoniemi, 1995),
  - externalisation des opérations logistiques, transformation de magasin en site de production (Van Damme et Van der Zon, 1999),
  - conception du réseau de recyclage de biens (Goldsby et Closs, 2000),
  - tests de règles de gestion de systèmes flexibles de production (Ozbayrak *et al.*, 2004),
  - formation des coûts suivant un fonctionnement différent de la chaîne logistique (Chan et Spedding, 2003).

- selon (Morana, 2002) le couplage de la méthode ABC par la consolidation avec d'autres techniques processuelles telles que l'ECR (Efficient Consumer Response, Des Garets, 1992) permet d'envisager des outils d'information et de diagnostic en temps réel (Seal *et al.*, 1999, La Londe et Ginter, 2000).



**Figure 2-9. Consommation des ressources par le modèle de coût ABC. (Comelli *et al.*, 2006)**

En supposant que le Supply Chain Costing dépasse les frontières de l'organisation, (Seuring, 1999) identifie trois niveaux de coûts qui doivent être identifiés par le système de coût de la chaîne logistique :

- celui des coûts spécifiques/directs causés par le fonctionnement de chaque entité d'une firme;
- celui des coûts indirects internes à la compagnie dont l'évaluation ABC permet de révéler la formation ;
- celui des coûts de transactions (Williamson, 1998) qui sont évalués par les différents systèmes des firmes et concernent les coûts liés au fonctionnement inter-organisations de la chaîne logistique. Ces coûts sont obtenus par la consolidation d'informations provenant des différents systèmes ABC des compagnies.

Cela signifie que quel que soit le type de décision (conception stratégique du réseau / gestion opérationnelle), le recours à un système ABC permet de fournir l'information nécessaire sur les coûts de la chaîne logistique.

#### 4.1.4. SYNTHÈSE DU MODÈLE ABC

L'ensemble des éléments précédemment cités justifie notre choix d'utiliser le modèle ABC pour estimer la consommation des ressources au sein d'une chaîne logistique à un niveau tactique. Plusieurs limites apparaissent néanmoins dans l'évaluation des processus proposée par les auteurs du Supply Chain Costing. En se focalisant sur notre problématique, la limite majeure du modèle ABC réside dans le fait que l'évaluation proposée par cette méthode, même si elle est causale, ne constitue absolument pas une évaluation des unités du flux financier. En effet, les indicateurs ABC, même s'ils sont libellés en unités monétaires ne constituent pas la position financière de la firme sur la période et ne traduisent pas l'impact de l'activité du flux physique en unité du flux financier. Ce phénomène a trois origines :

- un certain nombre de coûts sont des coûts calculés qui ne seront jamais décaissés (amortissement de matériels, etc.) ;
- le coût d'un item à une date donnée est constitué par l'agrégation d'éléments unitaires qui seront payés chacun à une date différente ;

- inversement, plusieurs clients achetant un même type d'item à une date donnée risquent de payer à des dates différentes.

Néanmoins, cette méthode demeure tout à fait pertinente pour l'estimation des consommations indirectes de ressources et servira donc de base à l'évaluation des flux financiers. Après avoir présenté l'intérêt de la méthode ABC au niveau du Supply Chain Costing, nous donnons un état de l'art sur les contributions majeures traitant du Supply Chain Costing à un niveau tactique.

#### 4.1.5. ETAT DE L'ART SUR LES CONTRIBUTIONS INTEGRANT LE FLUX FINANCIER POUR LE SCM

Nous proposons dans cette section d'analyser les contributions majeures ayant étudiée ou employée la méthode ABC dans le cas d'une étude liée à la chaîne logistique. (Fénies, 2006) propose un état de l'art exhaustif sur les contributions majeures traitant de l'utilisation du modèle ABC de la chaîne logistique (tableau 2-6). Il classe les contributions recensées au moyen d'une matrice proposée par (Chabrol *et al.*, 2006) :

- le premier axe classe les problèmes suivant la temporalité du problème (Stratégique, Tactique et Opérationnel);
- le second axe spécifie la granularité de modélisation du problème (Macroscopique, Mésoscopique, Microscopique).

	Macroscopique	Mésoscopique	Microscopique
Stratégique	<b>Conception du réseau</b> Cohen et Kleindorfer, 1993 Liston <i>et al.</i> , 2006	<b>Conception de processus</b> Shapiro, 1999 Yard, 2000	<b>Conception d'activité</b> Shapiro, 1999 Aseiedu <i>et al.</i> , 2000 Lea et Fredendal, 2002 Chan et Spedding, 2003
Tactique	<b>Configuration du réseau</b>  ?	<b>Conf. du processus</b> Albright <i>et al.</i> , 1992 Boons, 1998 Schneeweiss, 2003 Hombourg, 2004 Ozbayrak <i>et al.</i> , 2004	<b>Configuration d'activité</b> Salafatinos, 1996 Takakuwa, 1997 Spedding et Sun, 1999 Tseng et Jiang, 2000 Chan et Spedding, 2003 Cil, 2004
Opérationnelle	<b>Pilotage du réseau</b> ?	<b>Pilotage de processus</b> Badell <i>et al.</i> , 2005	<b>Pilotage d'activité</b> Rasmussen <i>et al.</i> , 1999

**Tableau 2-6. Principales contributions utilisant le modèle ABC pour des problématiques de SCM (Fénies, 2006)**

En référence à cette classification, notre problématique se situe donc comme un problème tactique et de configuration de processus. Compte tenu de cette dernière, nous nous focalisons sur les contributions majeures et adjoignons à cette analyse des travaux récents basés sur l'estimation des cash flow (tableau 2-7 et tableau 2-8). Pour chaque contribution, nous proposons l'analyse suivante :

- Quel est le domaine de l'étude ?
- Quel est l'objectif de l'étude ?
- Quel système a été étudié ? L'approche est-elle générique ou dédiée ?
- Comment le modèle ABC a-t-il été intégré ?
- Quelles sont les questions concernant la pertinence de l'approche ?

L'état de l'art précédemment donné liste 10 références majeures concernant l'intégration du modèle ABC ou des flux financiers pour des problèmes tactiques. L'analyse de ces papiers nous permet de conclure sur les points suivants :

- Les contributions de (Badell *et al.*, 2005) et (Guillen *et al.*, 2006) prouvent le réel intérêt d'évaluer le niveau de liquidité des entités au cours du processus de planification et d'ordonnancement. Leur contribution illustre l'intérêt majeur de synchroniser les processus de planification et de budgétisation au sein d'un seul et même processus. Leur approche d'optimisation du cash flow est très complète puisqu'ils intègrent la prise en compte de moyens de financement ou d'investissement pour optimiser le flux de trésorerie. Cependant, l'évaluation des dépenses est limitée puisqu'elle est liée au flux physique sur l'estimation d'achats et de ventes mais néglige la consommation indirecte de ressources. C'est en cela que différent nos approches qui demeurent complémentaires.

- Les autres contributions traitent de la mise en œuvre du modèle ABC pour des problèmes tactiques de SCM. Les contributions peuvent être classées suivant la nature de l'étude :
  - l'intégration du modèle ABC sur un cas d'étude,
  - l'étude de la sensibilité du modèle suivant des hypothèses considérées comme restrictive.

Le premier groupe de contributions (Salafatinos, 1996; Boons, 1998 ; Ozbayrak *et al.*, 2004) montre une fois de plus, la pertinence de l'approche ABC pour des problèmes de gestion de production à un niveau tactique. Notamment, la pertinence d'un couplage d'ABC à un modèle de simulation est présentée par la capacité des modèles de simulation à modéliser finement les flux physiques et donc les activités.

Le second groupe de contributions (Hombourg, 2004 ; Schneeweiss, 2003 ; Shapiro, 1999, Spedding et Sun, 1999 ; Chan et Spedding, 2003) propose des études plus fines sur l'intégration du modèle ABC mais en simplifiant les cas d'études pris en compte. La plupart des études se focalise sur l'évaluation de la consommation des ressources. En effet, cette dernière est la plupart du temps supposée linéaire. Ces études nous sensibilisent donc à la consommation de ressources ainsi qu'au choix des inducteurs mais ne répondent pas à la question de leur intégration au sein de problématiques complexes.

Ainsi pour conclure, les limites des contributions proposées se situent à plusieurs niveaux :

- les modèles ABC utilisés sont pour la plupart contextuels, ainsi aucun chaînage ou couplage de modèles multi niveau ou multi site n'intègre une modélisation ABC pour la planification tactique ;
- les approches proposées pour modéliser les flux financiers n'évaluent pas la consommation des ressources pour estimer les dépenses liées à la planification tactique du flux physique.

## 4.2.SYNTHESE

Nous avons montré dans le premier chapitre qu'une évaluation financière devait intégrer une évaluation du flux financier, sous la forme d'estimation des cash flows générés par entité, et par partenaire. Pour impacter le flux financier de manière positive, les modèles décisionnels de Supply Chain Management se focalisent sur deux aspects :

- ils cherchent à diminuer le niveau de stock (et dans cet esprit espèrent diminuer l'argent immobilisé) ;
- ils cherchent à augmenter le niveau de satisfaction client (au sens logistique du terme, cela signifie le pourcentage de clients servis), et donc à augmenter les recettes.

Ces différentes approches sont fondées sur une vue partielle du flux financier et essaient d'améliorer tel ou tel ratio comptable ; le modèle SCOR du Supply Chain Council, comme la plupart des indicateurs de la littérature, fournit à cet effet un certain nombre de ratios financiers classiques qui sont tous basés sur des coûts calculés et qui ne prennent pas en compte l'impact des délais de paiement.

Comme (Badell, 2005) et (Guillen *et al.*, 2006), il n'est pas sûr, compte tenu de la non prise en compte de la temporalité des délais de paiement (et donc de l'évaluation réelle du flux financier) et compte tenu de la complexité des relations entre les systèmes qui composent la chaîne logistique, que jouer sur ces deux critères permette d'améliorer à court ou à moyen terme les niveaux de cash-flow des entités.

Si au niveau conception du réseau, plusieurs modèles décisionnels existent et travaillent indifféremment sur la création de Cash-flow ou de profit, on ne retrouve pas cette approche au niveau tactique. En effet, les modèles du Supply Chain Costing ne traduisent pas cet état de fait, et à notre connaissance, il n'existe pas de modèles permettant d'estimer l'impact réel du flux physique sur le flux financier en prenant en compte l'aspect dynamique des délais de paiement, que ce soit dans la littérature ou dans les outils logiciels dédiés.

Contributions	(Shapiro, 1999)	(Booms, 1998)	(Ozbayrak <i>et al.</i> , 2004)	(Hombourg, 2004)	(Schneeweiss, 1998)	(Salafatinos, 1996)
Problématique et positionnement de l'étude	Plan stratégique (Resource-Based View of the firm).	Planification MRP.	Evaluation d'un FMS fonctionnant sous MRP ou JIT	Problème de planification d'activité à caractère binaire (acceptation d'une commande, fabrication ou achat, etc.).	Problème d'investissement de production par allocation de capacité.	Problème d'investissement de production par allocation de capacité.
Objectif de l'étude Critère	Proposer un modèle de coût ABC permettant de définir des business plans.	Proposer un modèle de planification de coût ABC pour un modèle de planification.	Evaluer deux stratégies Pull/Push sur un FMS	Illustrer la sensibilité de la méthode ABC face à l'hypothèse de linéarisation restrictive de la consommation des ressources	Proposition d'un modèle approximé d'investissement de production « approximation ABC » et comparaison au modèle de base.	Etude de l'opportunité d'utiliser ABC comme un outil d'aide à la décision concernant l'opportunité d'augmenter ou de réduire la capacité des ressources
Approche générique Critère	Proposition d'un modèle mathématique. Application à trois cas d'études.	Modèle mathématique. Application sur un exemple simple (2 produits, 4 composants).	Modèle de base ABC	Deux modélisations génériques de la consommation des ressources, l'une classique et l'autre basée sur l'hétérogénéité des produits (consommatrice de ressource)	L'approximation proposée est générique et consiste notamment à supposer que les ressources sont consommées entièrement.	Modélisation mathématique des coûts d'augmentation et de diminution de capacité.
Intégration du modèle ABC	Intégration des activités pour déterminer la consommation des ressources.	Détermination des coûts de produits par intégration successive des consommations de ressources.	Détermination d'une liste d'activité et de cost drivers spécifiques au cas d'étude.	N/A	L'intégration proposée suppose la linéarité de la consommation des ressources.	Modèle basé sur le lien entre ressource et activité (pas de lien avec le produit et donc le flux physique).
Pertinence de l'approche ABC Commentaires	Etude basée sur la distinction de ressources qui permet de traduire le fait que leur consommation est le plus souvent non linéaire.	Formalisation de consommation de ressources proportionnelles, basées sur des nombres de lois et sur une extension des ressources Le modèle de planification est très restreint. Pas de capacité, pas de conservation de stock, etc. Impossible de le rattacher à un modèle de la littérature de la planification tactique.	Niveau de granularité du modèle très fin permis grâce au modèle de planification (Temps attente buffer) Du fait de l'utilisation de la simulation, la réflexion sur les activités qui sont dépendantes des deux politiques PUSH/PULL n'est pas menée car non nécessaires.	Illustration par simulation sur un exemple simple.	L'approximation effectuée bien qu'intéressante génère un gap trop important.	

Tableau 2-7. Contributions majeures utilisant ABC pour des problématiques tactiques



Contributions	(Spedding et Sun, 1999)	(Chan et Spedding, 2003)	(Badell, 2005)	(Guillen <i>et al.</i> , 2006)
blématique et positionnement de l'étude	Etude d'une ligne d'assemblage de circuit imprimé.	Optimisation multidimensionnelle de système de production.	Intégration de l'optimisation des cash flow au sein d'un APS pour les problèmes à horizon court terme.	Intégration d'un module d'optimisation des cash flow à un module de planification/ordonnancement dans le cadre des industries chimiques Travaux basés sur ceux de Badell.
Objetif de l'étude Critère	Intégration de l'approche ABC au niveau d'un modèle de simulation à événement discret.	Proposition d'une méthodologie multi dimensionnel (Productivité, qualité, et coût).	Optimiser l'argent en trésorerie au moyen d'emprunts, retard de paiement, investissement, etc.	Proposer un ordonnancement/planification qui intègre l'optimisation des cash flow et le comparer à un processus de planification/budgétisation séquentielle.
Approche générique Critère	Le couplage simulation/ABC Etude basée sur un cas d'étude.	Une méthodologie basée sur des outils connus (ABC, simulation, réseau de neurones).		L'approche proposée est générique dans le sens où un modèle d'optimisation des cash flow de la littérature et un d'ordonnancement/planification pour les industries chimiques est repris.
Intégration du modèle ABC	Application basique d'un modèle ABC dont les variables sont indiquées par le modèle de simulation.	L'intégration du modèle ABC est effectuée à la suite du modèle de simulation pour évaluer les coûts générés.	Les dépenses ne sont pas reliées au flux physique.	La modélisation des coûts liés à la planification n'est pas modélisée par ABC. Les coûts internes ne sont pas modélisés. L'approche est basée sur l'estimation des ventes et des achats de fournitures, matières premières, etc.
Commentaires	Le couplage avec le modèle de simulation permet d'obtenir un outil d'aide à la décision de type « What if » permettant de répondre à des problèmes divers tels que configuration d'atelier, de politique de gestion de stock... Les activités et les inducteurs de coût ne sont pas mentionnés.	Le choix des activités et des inducteurs nécessaires n'est pas mentionné.	Article qui insiste sur la nécessité d'optimiser l'argent en trésorerie au sein de l'entreprise.	L'article insiste sur la nécessité de prendre en compte la liquidité des entreprises au cours du processus de planification. Le modèle d'optimisation des cash flow est très complet concernant les moyens de financement et se trouve donc très complémentaire à l'approche proposée.

Tableau 2-8. Contributions majeures utilisant ABC pour des problématiques tactiques

## 5. LES OUTILS D'AIDE A LA DECISION POUR LE SCM

### 5.1.INTRODUCTION

Les sections précédentes ont présenté un état de l'art sur la planification tactique plus particulièrement en se focalisant sur deux axes :

- la modélisation et l'optimisation de plan de planification tactique,
- l'intégration des flux financiers à la problématique de planification tactique.

Ces états de l'art se sont focalisés essentiellement sur les contributions scientifiques, nous proposons dans cette section de nous focaliser sur les réponses logicielles offertes aux entreprises concernant la planification tactique des chaînes logistiques.

### 5.2.REPONSES LOGICIELLES AU SCM

L'offre de réponses logicielles aux enjeux du SCM est diverse et multiple. La figure 2-10, reprise par de nombreux auteurs (Génin, 2004 ; Cossard, 2004), situe ces différentes réponses au regard des différents problèmes du SCM. (Tchernev, 2004) classifie ces applications en deux types :

- les applications transactionnelles, dont le rôle est de traiter les données en entrée pour fournir des informations (agrégées ou non) sur l'état des différents éléments constitutifs de la chaîne logistique ;
- les applications analytiques, dont l'objectif est de traiter les données en entrées par des méthodes analytiques pour fournir une aide à la décision.

Les applications transactionnelles regroupent les applications suivantes :

- la brique applicative MES (Manufacturing Execution System) (Weygandt, 1996 ; Morel *et al.*, 2003) ; ce sont des systèmes qui délivrent l'information en temps réel sur l'exécution des ordres de planification. Ils permettent ainsi le contrôle des ordres de planification depuis leur lancement jusqu'à l'obtention des produits. Ils fournissent une information en temps réel sur cinq types d'entités (les matières, l'équipement, le personnel, les documents et l'environnement).
- la brique applicative de type SCE (Supply Chain Execution) qui permet de rationaliser la totalité du cycle de traitement des commandes; ils permettent l'approvisionnement des marchandises et services à travers la Supply Chain en assurant l'accomplissement des plans et en comprenant la création des ordres d'achat, la prise des ordres clients, la gestion de l'inventaire, le contrôle des mouvements de produits dans les entrepôts et la livraison des marchandises au client (Botta-Genoulaz *et al.*, 2005). A cet effet, ils fédèrent trois grandes fonctions :
  - la gestion des commandes (OM pour Order Management),
  - l'entrepôt (WMS pour Warehouse Management System),
  - le transport (TMS pour Transport Management System).
- la brique applicative ERP (Enterprise Resource Planning) ; ce sont des applications transactionnelles intraentreprise qui intègrent les activités de différentes fonctions de l'entreprise sous la forme de modules fonctionnels (Schumann, 1997). Ils partagent les informations entre les modules via une base de données unique (Botta-Genoulaz et Millet, 2005).
- la brique applicative CRM (Customer Relationship Management) ; ces applications ont deux objectifs (Botta-Genoulaz *et al.*, 2005) :
  - élaborer une base de données commune aux fonctions marketing, commerciale, et service après vente,
  - mettre en place un pilotage commun et cohérent entre la gestion des clients et le développement des produits pour améliorer fortement le service des clients.
- la brique applicative de type BI (ou Business Intelligence) qui structure l'information décisionnelle sous la forme de tableaux de bord dans des vues multidimensionnelles (March et Hevner, 2005). Ce type d'application inclut des applications de type entrepôts de données (Datawarehouse centralisée ou datamart plus spécialisé), des tableaux de bord (OLAP) combinés à des techniques de fouilles de données (Datamining) dans l'objectif est de présenter une information à valeur ajoutée (Botta-Genoulaz et Millet, 2005).

Les applications analytiques regroupent principalement les applications logicielles de type APS (Advanced Planning and Scheduling (Moon et Seo, 2005) ou Advanced Planning System (Stadler et Kilger, 2001)). D'après (Fleischmann *et al.*, 2001), un APS est un progiciel qui couvre l'ensemble des problématiques de planification de la chaîne logistique. Plus précisément, un APS a pour but d'optimiser la planification et la synchronisation des flux de la chaîne logistique en tenant compte simultanément d'un grand nombre de contraintes (ressources,

capacités, délais, coûts) et ce sur plusieurs horizons (stratégique, tactique, opérationnel). Les APS ont été conçus à l'origine pour dépasser la planification de type MRPII implanté dans les ERP en y adjoignant un véritable module de planification à base de modèles mathématiques (Fleischmann *et al.*, 2001).

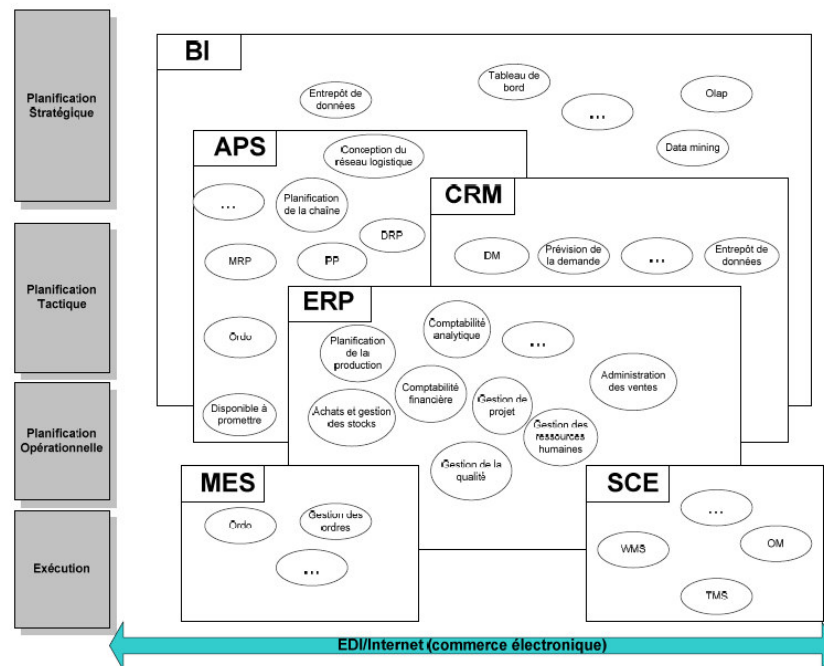


Figure 2-10. Réponses logicielles au SCM

### 5.2.1. APPORTS ET LIMITES DES APS POUR LA PLANIFICATION DES CHAINES LOGISTIQUES

(Stadler, 2005) décrit les suites logicielles d'APS en distinguant de manière fonctionnelle et hiérarchisée leurs différents modules.

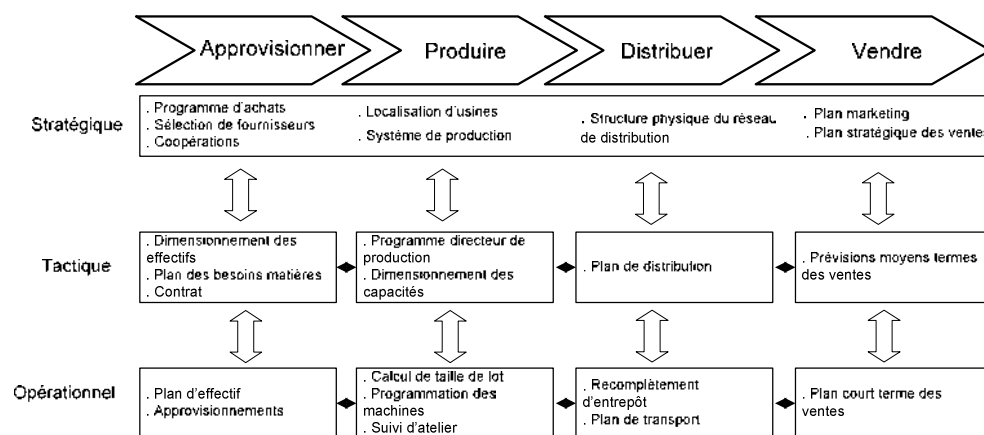


Figure 2-11. Principaux modules des APS (Stadler et Kilger, 2001)

Au vu de cette figure, les APS sont composés d'un ensemble de module permettant de prendre en compte la diversité des problèmes soulevés par le SCM. En se focalisant sur les problèmes de planification tactique, la figure 2-11 présente les APS comme la solution logicielle au problème de planification tactique de la chaîne logistique. La figure 2-12 présente quant à elle le fonctionnement du processus de planification d'un APS.

L'offre commerciale très large des APS engendre une surenchère au niveau des capacités prétendues de ces logiciels engendrant une confusion sur la réelle capacité de ces derniers pour résoudre des problèmes de planification tactique et sur leur réelle utilisation au sein des entreprises.

Les travaux de (Gruat La Forme, 2008) proposent ainsi une double analyse des APS d'un point de vue scientifique mais également en présentant un retour d'expérience provenant des industriels.

La critique de la littérature scientifique présentée au niveau de l'application des APS pour la planification tactique se focalise essentiellement sur l'instabilité générée par ces logiciels (Stadler, 2005). Ainsi les APS sont basés non pas sur un processus de planification hiérarchisé de type MRPII mais sur un processus de planification continue répondant à chaque événement considéré comme majeur. Ainsi les APS sont critiqués pour générer de l'instabilité au sein de la chaîne logistique en répondant rapidement aux variations (Stadler, 2005 ; Génin, 2004). Concernant le retour d'expérience des industriels sur l'utilisation des APS pour les problèmes de planification tactique, (Gruat La Forme, 2006) souligne l'intérêt majeur pour les modules de planification et d'ordonnancement mais dénote que plusieurs industriels sont déçus par la solution qui leur est fournie. Complexité de paramétrage et lenteur pour le temps d'obtention de solutions opérationnels sont les raisons majeures avancées. (Tempelmeier, 2006 (b)) corrobore cette conclusion en soulignant qu'un des dangers principaux dans l'utilisation des APS est la facilité d'intégration de contraintes par l'utilisateur rendant le problème inutilement complexe.

Enfin, (Tempelmeier, 2006 (b)) propose une analyse très fine des capacités des APS pour la résolution de problème de planification tactique. Il souligne notamment que la description basique employée des APS (figure 2-11) ne souligne pas que les modules de planification tactique ne peuvent être identiques à l'ensemble des systèmes de production. Une spécification des modèles de planification est nécessaire à chaque implémentation. Dans ce même article, (Tempelmeier, 2006 (b)) souligne que les APS négligent beaucoup trop les problèmes de lot sizing au niveau des solutions de planification proposée. Il rappelle justement qu'actuellement, la résolution optimale de « master planning » (PIC, PDP) se limite pour les techniques de programmation linéaire à des instances très faibles, incompatibles avec les tailles d'instances industrielles.

Il étend ce constat à la problématique de demande multi niveau prise en compte par les APS par une approche MRP classique c'est-à-dire sans prise en compte de la capacité. Il conclut alors sur le réel besoin d'amélioration de la prise en compte des problèmes de lot sizing au sein des APS.

Les paragraphes précédents nous permettent de conclure sur la faiblesse des APS actuels concernant les problèmes de planification tactique en soulignant les problèmes de cohérence et de faisabilité des solutions générées par ces suites logicielles.

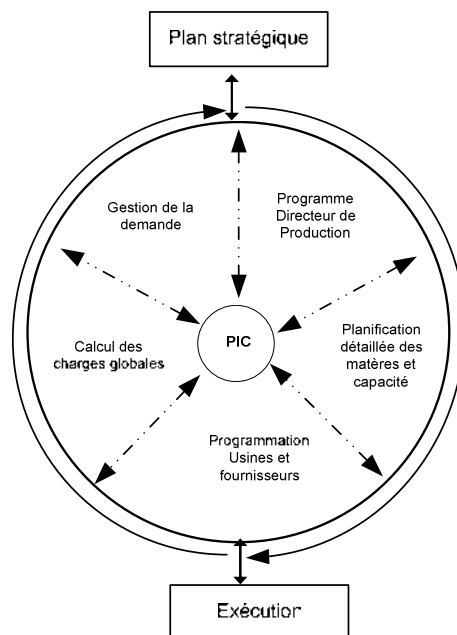


Figure 2-12. Processus de planification dans un APS (Lamouri et Thomas, 2000)

### 5.2.2. APPORTS ET LIMITES DES APS POUR LA PRISE EN COMPTE DES FLUX FINANCIERS AU NIVEAU DE LA PLANIFICATION TACTIQUE DES CHAINES LOGISTIQUES

Dans cette section, nous nous focalisons sur la réponse proposée par les APS concernant l'évaluation des flux financiers. Ainsi, comme l'ont constaté (Féniès *et al.*, 2004) dans une étude réalisée sur les principales suites logicielles de ce type (80% du marché), aucune d'entre elles n'intègre la contrainte du flux financier, et une seule intègre la contrainte de profit. La synthèse de leurs résultats est donnée dans le tableau 2-9.

Critères évalués	Résultat
<b>Fonctionnalités</b> Conception de la supply chain ; planning de production (PDP) ; Planning des ventes (PIC) ; Planning des approvisionnements ; Gestion de la demande	L'ensemble des fonctionnalités définies par (Fleischmann <i>et al.</i> , 2001) est intégré dans les APS testés.
<b>Intégration</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Du flux financier</li> <li>▪ Du compte de résultat</li> <li>▪ De benchmarks pour la mesure de la performance</li> </ul>	Pas d'intégration. Intégration dans les objectifs. Intégration de benchmark du flux physique.
Outils de programmation	Programmation linéaire (CPLEX) + Heuristiques
Collaborative Planning	Prévue, mais pas implantée de manière générique (développement spécifique)
<b>APS étudiés :</b> APO(SAP), Oracle APS (Oracle), Supply Chain Planning (Peoplesoft), Logility Voyager Solutions (American Software), iCollaboration Suite (ADEXA), eSupply Chain Suite (ASPEN), Futurmaster (Futurmaster), One2One Solutions (Synquest).	

**Tableau 2-9. Récapitulatif APS vs Evaluation financière (Féniès *et al.*, 2004)**

## 5.3. CONCLUSION

L'étude des suites logicielles présentée précédemment donne une vue globale des offres commerciales pour la gestion des chaînes logistiques. Concernant la planification de la chaîne logistique, les logiciels APS se présentent comme un outil dédié à cette problématique. Ces logiciels sont basés sur l'utilisation de modèles mathématiques résolus essentiellement au moyen de la programmation linéaire. Leur objectif est donc de proposer une planification intégrée qui s'oppose à la logique MRPII critiquée pour ne pas générer de solution optimale.

Les études d'analyse effectuée sur ces logiciels concluent principalement sur plusieurs points :

- le recours systématique à une planification intégrée et automatisée engendre au sein de la chaîne logistique une instabilité, qui est liée à la non maîtrise de cet outil par les managers;
- la modélisation par les managers des problèmes de planification engendre la création de modèles surcontraints inutilement;
- les méthodes de résolution basées sur la programmation linéaire sont actuellement trop limitées pour résoudre les problèmes générés. Cette conclusion corrobore l'analyse effectuée sur les méthodes permettant de résoudre des problèmes de lot sizing.

Comme pouvait le laisser supposer l'état de l'art sur la prise en compte des critères financiers au niveau de la planification tactique, aucun APS n'intègre ces contraintes et ces critères. Pour conclure les réponses logicielles ne répondent pas aux problématiques soulevées.

## 6. LA GESTION DE STOCK A DEMANDE DIFFERENCIEE

### 6.1. INTRODUCTION

Le chapitre 1 a décrit la problématique soulevée par la gestion de stock à demande différenciée. Nous rappelons que la particularité de ce type de problème est d'assurer à  $n$  clients,  $n$  taux de satisfaction distincts. Pour cela, trois solutions sont proposées, le recours à un stock commun, le recours à  $n$  stocks dédiés, et le recours à une gestion de stock commun par seuil.

Après avoir décrit au chapitre 1 le fonctionnement de ces trois modes de gestion, nous présentons dans cette section un état de l'art concernant l'étude des problèmes à demande différenciée puis une analyse concernant l'utilisation et la comparaison des trois politiques de stock.

### 6.2. CONTRIBUTIONS MAJEURES

(Veinot, 1965) est le premier à considérer le problème de demandes différenciées dans les systèmes de gestion de stock. Il analyse dans ces travaux un modèle de gestion périodique, considérant  $n$  demandes et aucun lead time. Il est le premier auteur à introduire le concept de niveau critique comme défini précédemment. Son travail introductif se focalise alors sur la quantité à commander et sur les dates de réapprovisionnement. De nombreux auteurs ont focalisé depuis leur attention sur l'étude de la politique de gestion par seuil.

(Topkis, 1968) étend alors les travaux de Veinot en traitant le problème d'allocation des stocks entre les différentes classes de demande dans un contexte d'une période unique dans le cas d'un système de suivi périodique. Dans son travail, chaque demande est caractérisée par un coût de rupture différent. L'analyse est facilitée en divisant chaque intervalle de temps en un nombre fini de sous intervalles. A la fin de chaque sous période, une décision d'allocation des stocks est effectuée. Celle-ci assure un équilibre entre les bénéfices de satisfaction de la demande pour les demandes de classes faibles et la réservation de stock pour satisfaire des demandes de classes supérieures. Dans le cadre d'une période unique, Topkis démontre l'existence de niveaux optimaux pour chaque classe de demande. Les spécificités du modèle de Topkis sont les suivantes : les décisions sont prises à intervalle de temps fixe et les seuils de rationnement sont variables. Par ailleurs, des travaux voisins à ceux de Topkis sous différents environnements ont été traités par (Kaplan, 1969).

(Nahmias et Demmy, 1981) ont été les premiers à analyser une politique de rationnement dans un système  $(Q,r)$ . Il considère un système à révision continue en considérant deux types de demande suivant une loi de Poisson. Néanmoins, leurs travaux se focalisent sur l'évaluation des taux de satisfaction des clients pour un système de rationnement. Considérer plusieurs commandes en cours permet d'étudier des systèmes plus complexes mais complexifie fortement l'évaluation mathématique des critères. Pour conclure sur les travaux de (Nahmias et Demmy, 1981), ceux-ci se focalisent sur l'estimation de critères mais ne propose pas d'optimisation des paramètres de la politique de rationnement.

(Dekker *et al.*, 1998) traitent d'un modèle de gestion des stocks lot par lot similaires à ceux de (Nahmias et Demmy, 1981) qu'ils élargissent en supposant possible la présence de plusieurs ordres de réapprovisionnement au carnet de commande. Les résultats de (Nahmias et Demmy, 1981) sont également généralisés par (Moon et Kang, 1998). Ils considèrent un modèle de gestion  $(s,Q)$  et définissent des expressions approchées pour les taux de satisfaction des deux types de demandes. Le modèle de (Nahmias et Demmy, 1981) est analysé avec ventes perdues par (Melchior *et al.*, 1998).

(Ha, 1997a) traite d'un modèle lot pour lot avec deux classes de demande, en tenant compte de backorders et de lead time distribués exponentiellement, et montre que le modèle peut être formulé comme un problème de files d'attente. Il montre que, sous ces hypothèses, la gestion par niveau critique est optimale. (Ha, 1997b) considère un seul produit, une production sur stock avec  $n$  classes de demandes, des ventes perdues, une demande suivant une loi de Poisson et des temps de production suivant une loi exponentielle. Il modélise ce système comme un modèle  $M/M/1/S$  de files d'attente et prouve que la politique de production lot pour lot et celle du niveau critique est encore optimale. Pour deux types de demandes, il donne les expressions pour un niveau de stock recherché et des probabilités de rupture. Pour déterminer la politique optimale, il utilise une recherche exhaustive et suppose que le coût moyen est unimodale dans la gestion order-up-to level. (Vericout *et al.*, 2000 ; Vericout *et al.*, 2002) développent une caractérisation d'une politique optimale en tenant compte de backorders sans setup cost et de lead times exponentielles.

Une politique de niveau critique pour deux classes de demandes où le niveau critique dépend du temps restant jusqu'au prochain réapprovisionnement a également été discutée par (Teunter et Klein, 1996). Ils analysent dans un premier temps, un modèle équivalent à celui périodique de (Evans, 1968) et (Kaplan, 1969). (Teunter et Klein, 1996) aussi présentent un modèle de gestion continue  $(s,Q)$  avec des lead times déterministes. Sous l'hypothèse qu'un réapprovisionnement est assez large pour satisfaire tous les backorders en carnet des clients de priorité haute, ils donnent une méthode pour trouver des temps de stockage critiques presque optimaux. Ils

montrent qu'une politique de temps restant surpasse une gestion par niveau critique simple où tous les niveaux critiques sont stationnaires.

(Dekker *et al.*, 1997) analyse un système similaire à (Ha, 1997b). Ils modélisent ce système comme un système de file d'attente M/M/S/S pour exprimer le coût moyen et les niveaux de stocks. (Nguyen, 1991) montre que pour des lead times suivant une loi généralement distribués, une gestion par niveau critique est optimale dans un tel système. (Dekker *et al.*, 1997) définissent des algorithmes efficaces pour déterminer le niveau critique optimal, dans un système de order up to level pour des systèmes avec ou sans restrictions de niveau de service. Dans ce modèle, les différents types de demandes sont caractérisés par différents coûts de ventes perdues.

La seule contribution supposant une demande déterministe est réalisée par (Moon et Kang, 1998). Ils considèrent une seule période avec  $n$  types de demandes, à ventes perdues et gestion continue. Il considère des durées critiques après lesquels la demande de certains types de clients n'est plus satisfaite.

Enfin, certains auteurs ont étudié des systèmes à demande multiple sans étudier des politiques de rationnement. (Cohen *et al.*, 1988) utilisent un mécanisme de priorité pour allouer le stock dans un système (s,S) avec deux types de demande. Ils considèrent deux types d'approvisionnement (urgent et normal) avec différents lead times. Ils considèrent un niveau global de satisfaction basé sur une demande agrégée et ne rationnent pas le stock pour l'une ou l'autre demande.

(Kleijn et Dekker, 1998) proposent une classification de certains de ces travaux suivant le mode de révision des stocks ainsi que le nombre de types de demande repris (tableau 2-10). Une classification plus complète tenant compte des objectifs, des contraintes prises en compte pourrait être utile pour clarifier cette recherche.

Révision périodique	Révision continue
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 2 classes</li> <li>▪ Evans (1988)</li> <li>▪ Kaplan (1969)</li> <li>▪ Nahmias &amp; Demmy (1981)</li> <li>▪ Cohen, Kleindorfer &amp; Lee (1988)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 2 classes</li> <li>▪ Nahmias &amp; Demmy (1981)</li> <li>▪ Dekker, Kleijn &amp; De Rooij (1998)</li> <li>▪ Ha (1997a)</li> <li>▪ Teunter &amp; Klein (1996)</li> <li>▪ Melchior, Dekker &amp; Kleijn (1998)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>n</math> classes</li> <li>▪ Veinot (1965)</li> <li>▪ Topkis (1968)</li> <li>▪ Moon &amp; Kang (1998)</li> <li>▪ Atkins &amp; Katircioglu (1995)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>n</math> classes</li> <li>▪ Ha (1997b)</li> <li>▪ Moon &amp; Kang (1998) (deterministic demand)</li> <li>▪ Dekker, Hill &amp; Kleijn (1997)</li> </ul>

**Tableau 2-10. Classification (Kleijn et Dekker, 1998).**

Pour synthétiser l'état de l'art précédemment effectué, il est possible de constater que la majorité des travaux se focalisent essentiellement sur la démonstration de l'optimalité d'une solution et sur l'évaluation mathématique des critères (taux de service, temps moyen d'attente, etc.). Bien que ces deux objectifs soient pertinents très peu de travaux à l'exception de (Ha, 1997a) et (Dekker *et al.*, 1998) étudient l'optimisation des critères d'une politique par seuil.

La difficulté d'optimiser une politique de rationnement est mentionnée par plusieurs auteurs qui l'expliquent par la présence de stock et backorders simultanément. Les travaux de (Deshpande, 2003) traitant un mode de révision continu (Q,r,K) proposent une méthode qui consiste à déterminer S et Q optimaux pour toute valeur de K ; le trio optimal étant trouvé par énumération des valeurs de K. (Tempelmeier, 2006 (a)) étudie un système (s,q,k) à révision périodique. Il propose une évaluation du taux de couverture ainsi que du temps d'attente pour les demandes de niveau non prioritaire et compare ces évaluations par simulation. Il propose enfin un algorithme de construction qui permet de fixer successivement s, q en fonction des taux de satisfaction désirés dans le cas de deux types de demande.

Les travaux concernant l'optimisation des critères d'une politique par seuil peuvent être récapitulés par le tableau 2-11. Ce dernier montre qu'aucun auteur ne propose de méthodes autres qu'une recherche exhaustive pour trouver de façon optimale les critères de cette politique.

### 6.3. COMPARAISON DES POLITIQUES DE STOCK

L'analyse précédemment effectuée souligne que plusieurs auteurs ont démontré que la politique de gestion par stock est une politique optimale pour une majorité de modèles. Néanmoins, ces conclusions ont été effectuées sur des modèles théoriques et basiques. Par ailleurs, si l'optimalité de cette solution a été démontrée, l'application d'un algorithme pour la fixation des paramètres a été peu traitée.

	Révision continue	Révision périodique
(Tempelmeier, 2006 (a))		Assure les taux de satisfaction
(Ha, 1997a)	Recherche exhaustive	
(Dekker <i>et al.</i> , 1998)	Algorithme efficace	
(Deshpande <i>et al.</i> , 2003)	Recherche exhaustive	

**Tableau 2-11 Algorithme de fixation des paramètres de la solution par seuil**

De plus, les trois politiques des stocks ont été relativement très peu comparées. Puisque finalement, la grande majorité des travaux (Kleijn et Dekker, 1998 ; Tempelmeier, 2006 (a) ) se focalisent sur l'étude de la politique par seuil de rationnement et se contentent d'énumérer les deux autres solutions.

Pour résumer, la politique de stock commun est critiquée par la littérature pour proposer un niveau de service trop important à l'ensemble des clients ce qui engendre un surcoût. En ce qui concerne la politique de stocks dédiés, cette dernière ne bénéficiant pas de l'avantage du stock commun ; les stocks sont donc sujets à des variations de prévisions de ventes, des temps de transport plus importants, ce qui implique une augmentation des stocks de sécurité pour compenser ce phénomène.

Dans un contexte de révision continue, (Deshpande, 2003) propose ainsi une analyse très fine et une comparaison détaillée des trois politiques de gestion. Il considère ainsi un système de gestion de stock (s,q,k) en révision continue et suppose que les demandes suivent une loi de Poisson. Il suppose la présence de backorders ainsi que de plusieurs ordres de réapprovisionnement. Il décrit un mécanisme précis de la satisfaction des ordres en attente. Tous les backorders (prioritaires ou non) présents depuis un certain temps sont tous satisfaits puis en fonction de la quantité restante, les commandes de niveau haut sont satisfaites puis finalement celles de niveau faible. L'apport significatif de ce travail réside dans la comparaison des trois politiques (stock commun, stocks dédiés, et seuil de rationnement). Il simule ainsi les différentes politiques de gestion de stock sous différents paramètres. Il compare alors les politiques suivant deux axes, le coût de rupture et la quantité de commandes prioritaires.

Dans un premier temps, il suppose que les demandes des deux types sont égales, et fait varier les coûts de rupture des deux classes. Un ratio A égal au coût de rupture des demandes non prioritaires divisé par coût de rupture des demandes prioritaires est défini.

Ainsi, la politique de seuil est toujours meilleure que la politique du stock commun. Ceci est d'autant plus vrai que le ratio A est petit. Dans ce cas, ne pas satisfaire les clients privilégiés est très pénalisant. Or la politique « stock commun » offre la même réponse aux deux clients, elle effectue dans ce cas une « surqualité » trop pénalisante par rapport à la politique de seuil qui est capable de fournir des réponses adaptées aux demandes non prioritaires. Face à la politique de stocks dédiés, la politique de seuil demeure la meilleure. Ceci est d'autant plus vrai que le ratio A est proche de 1. Dans ce cas, la pénalisation de rupture entre les deux demandes est proche. Aussi, fournir un même niveau de qualité pour les deux demandes est nécessaire. Or la politique de stocks dédiés ne bénéficiant pas de l'avantage d'un stock commun est alors très pénalisée.

Par ailleurs, (Deshpande, 1998) souligne que l'écart entre les trois politiques devient plus important pour des coûts de setup décroissants. En effet, pour des coûts de set up importants, la taille des lots devient plus importante, ce qui augmente la longueur des cycles de réapprovisionnement se traduisant par une baisse des ruptures qui atténue les différences entre politiques.

Le second axe d'étude de (Deshpande, 2003) concerne le pourcentage entre commandes prioritaires et commandes non prioritaires (figure 2-13). Ainsi quel que soit le ratio, la politique par seuil est toujours la moins coûteuse. Néanmoins, plus le pourcentage de commandes prioritaires est faible, plus l'écart entre une politique de stock commun et politique par seuil est important. En ce qui concerne la comparaison entre les politiques du stock commun et des stocks dédiés, la politique du stock commun ne devient avantageuse qu'à partir d'une certaine quantité de commandes prioritaires.

Les conclusions de cette partie de l'étude sont très intéressantes. Premièrement, l'optimalité de la politique par seuil est confirmée, et secondement les facteurs influençant les écarts entre politiques sont définis, ce qui permet de définir des environnements pour lesquels la solution est plus ou moins performante par rapport aux deux autres.

#### 6.4.SYNTHESE

L'état de l'art présenté précédemment sur la gestion de stock à demande différenciée souligne que la majorité des travaux se concentre sur l'étude de la solution par seuil. Cela s'explique par le fait que l'optimalité de cette



solution a été démontrée pour plusieurs modèles de bases. Ainsi la majorité de ces travaux se focalise sur la génération d'évaluateurs mathématiques de critères tels que les temps d'attente ou le nombre de backorders moyens. En revanche très peu de travaux se concentrent sur la détermination du paramétrage à l'exception de (Deshpande, 2003 ; Tempelmeier, 2006 (a)). L'étude de leurs travaux montre que leurs méthodes sont très voisines de méthodes dites énumératives. Aucune notion de performance de temps ou d'optimalité n'est par ailleurs donnée, ce qui nous permet de signaler la nécessité d'autres travaux renforçant la connaissance sur ces méthodes.

De plus, la majorité des articles énumère les deux autres solutions de gestion (par stock commun et stocks dédiés) en rappelant que ces dernières ne sont pas optimales. Pour autant, très peu offrent une comparaison des coûts et notamment de leur évolution suivant plusieurs critères.

Pour palier à cette carence, Deshpande réalise une étude très intéressante et souligne certes le réel intérêt à utiliser une solution par seuil mais modère cette conclusion pour certaines valeurs de critères (taux de clients privilégiés, différence entre les coûts, etc.). Le travail de Deshpande est basé sur un système de gestion de stock  $(s, q, k)$  en révision continue voisin de notre problématique mais qui diffère par le fait que le fonctionnement de la chaîne logistique de notre cas d'étude est basé sur le fonctionnement d'un DRP.

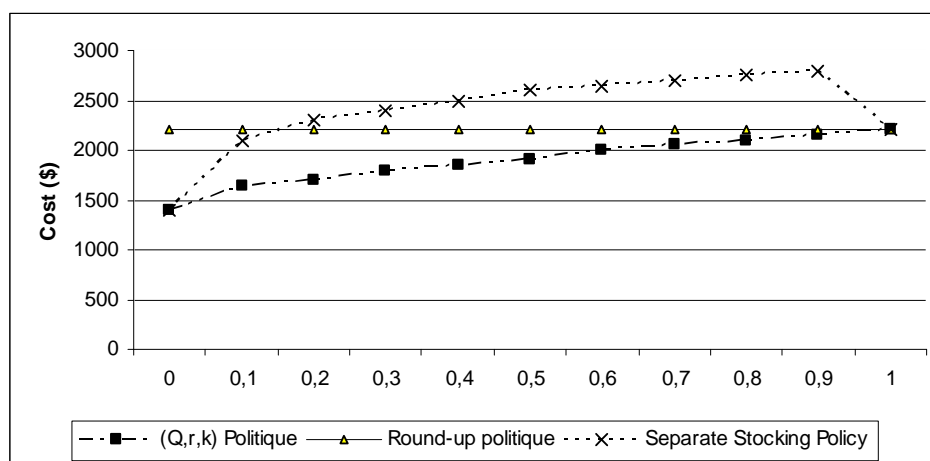


Figure 2-13. Evolution des coûts de 3 solutions suivant le pourcentage de commandes de clients privilégiés (Deshpande, 2003)

## 7. CONCLUSION

L'état de l'art réalisé s'est attaché à analyser l'ensemble des axes d'étude présentés au chapitre 1. Concernant la planification tactique des chaînes logistiques, l'état de l'art réalisé confirme qu'aucun modèle mathématique n'est identifié dans la littérature comme un modèle de référence pour la problématique de la planification tactique des chaînes logistiques.

De plus, la richesse de la littérature concernant l'optimisation de ces problèmes illustre l'intérêt actuellement porté sur ces domaines d'études. Néanmoins que ce soit sur des problématiques mono site ou multi site, l'état de l'art réalisé montre qu'il est actuellement très difficile voir impossible de dresser un bilan concernant les performances des méthodes utilisées pour la résolution de ces problèmes. En effet, les tableaux dressés pour chaque problème montre que très peu d'auteurs étudient le même modèle, sur les mêmes instances à partir de critères identiques. Il est indéniable que ce bilan est encore plus vrai pour les problématiques multi site, ou très peu de modèles identiques ont été étudiés par des auteurs différents.

Néanmoins des conclusions intéressantes peuvent être déduites de cet état de l'art. Concernant les problématiques multi site, les méthodes approchées apparaissent comme des méthodes de résolution très prometteuses compte tenu de la complexité de ces problématiques.

Concernant l'état de l'art relatif à l'évaluation financière des flux physiques, ce dernier montre que peu de travaux proposent de lier flux physiques et flux financiers. Ainsi il souligne l'absence totale d'évaluation des flux financiers au niveau des modèles traditionnels de planification tactique. Concernant la littérature basée sur l'évaluation financière, peu de travaux proposent un couplage avec les flux physiques. Malgré cela, la réelle nécessité de ces travaux a été soulignée. Ainsi il semble tout à fait pertinent de lier flux physiques et flux financiers dans le processus de planification tactique.

Au sujet de l'étude de gestion de stock à demande différenciée, aucune étude de comparaison entre les trois solutions n'a été encore réalisée sur un système de gestion de stock basé sur un modèle proactif. Ainsi, il semble

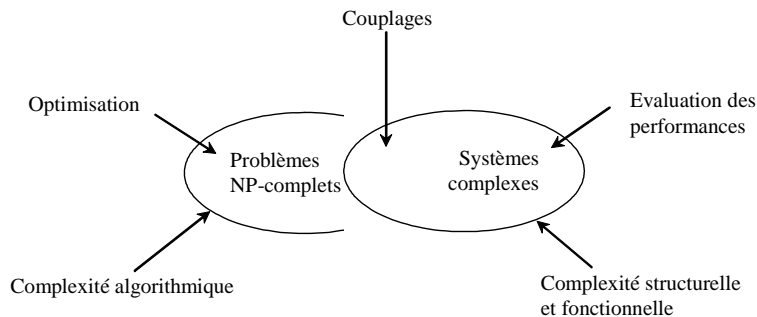
intéressant de savoir si les résultats établis pour un modèle de gestion à point de commande sont généralisables à un système de gestion de stock basé sur un DRP.

Cette synthèse conclut sur la pertinence des problématiques émises au chapitre 1. Les problématiques peuvent être énoncées de la manière suivante :

- Modélisation et optimisation de la planification tactique des flux physiques d'une chaîne logistique.
- Modélisation des liens entre flux physiques et financiers dans le processus de planification tactique.
- Optimisation des flux physiques par évaluation des flux financiers.
- Etude d'une chaîne logistique basé sur un système de gestion de stock à demande différenciée.

Comme mentionné précédemment, ces problématiques sont basées sur l'étude d'un système discret composé de ressources dont l'objectif est la production ou la transformation d'un bien ou d'un service. Ces problématiques présentent une double complexité (figure 2-14) :

- une complexité structurelle et fonctionnelle qui se traduit par la difficulté d'évaluer de manière simple le ou les critères de performance ;
- une complexité algorithmique qui, par abus de langage, désigne la complexité des problèmes d'optimisation combinatoire. Elle se traduit par la recherche d'une solution qui optimise un ou plusieurs critères de performance. Les problèmes auxquels nous nous intéressons sont en général NP-complets.



**Figure 2-14. Double complexité des problèmes de planification**

Pour répondre à la complexité structurelle et fonctionnelle de ces problèmes, nous proposons d'utiliser par la suite la méthodologie de modélisation nommée ASCI (Analyse, Spécification, Conception, Implantation) (Gourgand et Kellert, 1991), (Kellert, 1992). Cette méthodologie a été utilisée et adaptée dans différents domaines. A titre d'exemple, nous pouvons citer les thèses de (Goujon, 1998), (Lacomme, 1998), et de (Tchernev, 1997) pour les systèmes industriels de production, la thèse de (Combes, 1994) pour les systèmes hospitaliers et la thèse de (Sarramia, 2002) pour les systèmes de transport urbain.

Pour modéliser un système de production à flux discrets, cette méthodologie met en œuvre un processus de modélisation qui préconise la construction successive de deux modèles nommés modèle de connaissance et modèle d'action.

## 8. LA METHODOLOGIE ASCI

### 8.1. LE PROCESSUS DE MODELISATION

Le processus de modélisation est formé par l'exploitation du modèle de connaissance (modèle de fonctionnement du système) et du modèle d'action (traduction du modèle de connaissance dans un formalisme mathématique, dans un langage de programmation, dans un langage de simulation, etc.). Ce processus est itératif et est composé de quatre phases que sont l'élaboration du modèle de connaissance, l'exploitation du modèle d'action à partir du modèle de connaissance, l'exploitation du modèle d'action pour évaluer les performances et l'interprétation des résultats, correspondant à la déduction des actions à effectuer sur le système.

La méthodologie de modélisation, illustrée par la figure 2-15, met en jeu deux processus parallèles. Le premier processus se focalise sur le domaine de l'étude, le second sur un système dédié du domaine considéré. Les domaines d'étude peuvent être aussi divers que les systèmes industriels, les chaînes logistiques ou les systèmes hospitaliers. Le système est donc par définition un système précis du domaine considéré.

L'objectif de ce premier processus est de capitaliser la connaissance acquise en termes de modèle de connaissance et d'outils par l'étude successive de systèmes appartenant au domaine. Cette capitalisation permet alors d'aider à l'étude des prochains systèmes en offrant un modèle de connaissance et des outils.

Les deux processus sont mis en œuvre parallèlement au cours de l'étude d'un système. En fonction de la maturité du domaine étudié, le processus focalisé sur le domaine sera plus ou moins enrichi par le processus focalisé sur un système et « alimentera » ce dernier plus ou moins.

Les deux processus sont composés des quatre phases : Analyse, Spécification, Conception et Implantation. La principale différence entre les deux processus réside dans les phases de conception et d'implantation. Pour le processus focalisé sur le domaine, ces deux phases doivent être considérées comme l'élaboration de composants génériques permettant la constitution d'une bibliothèque d'outils dédiés à l'étude du domaine.

Après avoir décrit globalement la méthodologie de modélisation ASCI, nous nous proposons de nous focaliser sur la description du processus dédié à l'étude d'un système.

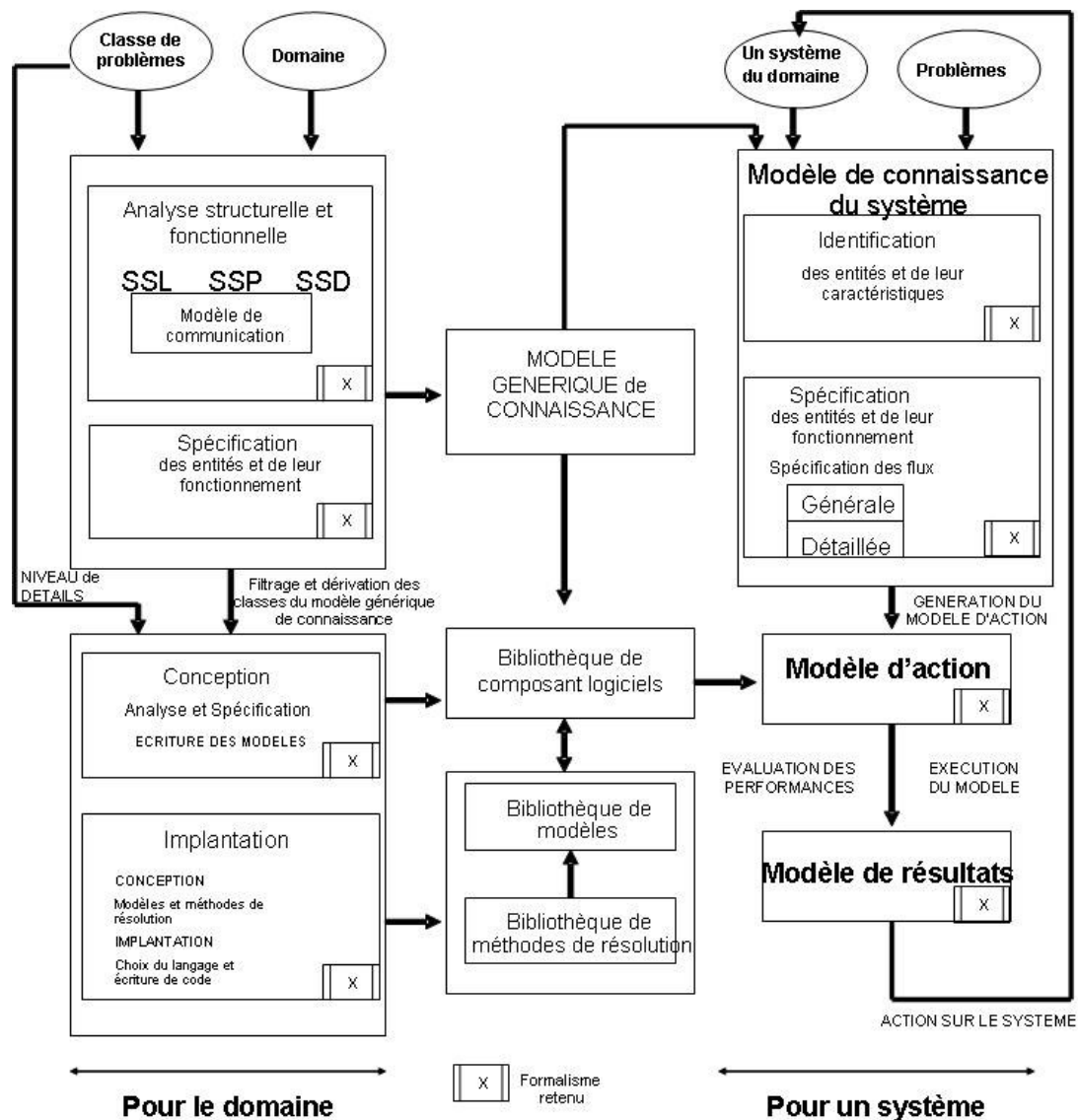


Figure 2-15. Schéma global de la méthodologie ASCI (Gourgand et Kellert, 1991)

## 8.2. LE PROCESSUS DE MODELISATION DEDIE AU SYSTEME

La figure 2-16 illustre le processus global de modélisation.

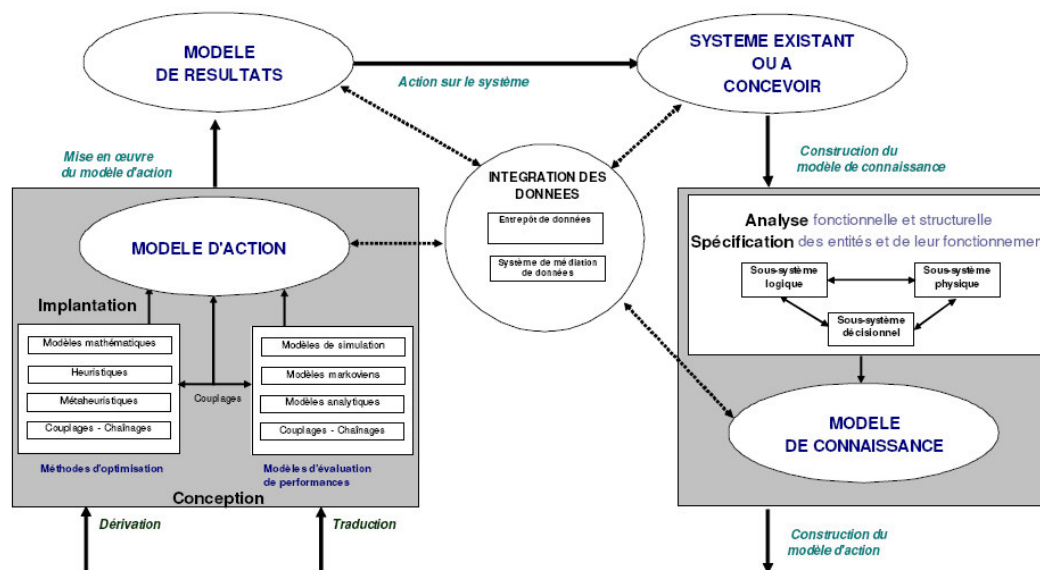


Figure 2-16. Processus de modélisation ASCII

## 8.3. ANALYSE ET SPECIFICATION

### 8.3.1. ANALYSE

La première étape du processus de modélisation réside dans l'activité suivante « Comprendre le système et les acteurs ». Lors de cette étape, les acteurs du système et les experts en modélisation concentrent leurs efforts sur la compréhension du système à étudier, l'étude des informations sur le système à modéliser, la définition des objectifs de l'étude et les contraintes à respecter. Les besoins des décideurs comme des acteurs, les objectifs et les contraintes sont énoncés une première fois à ce niveau du processus. Une vérification de la formulation du problème peut être menée à l'aide de questionnaires pour déterminer si la formulation du problème correspond bien au problème étudié. Les résultats de cette étape du processus de modélisation sont la définition du système et la formulation du problème. La définition du système est une entrée de l'activité « Elaborer le modèle de connaissance », tandis que la formulation du problème représente une contrainte de contrôle à satisfaire.

### 8.3.2. SPECIFICATION

Lors de cette étape, les entités et leurs interrelations jugées pertinentes, sont recueillies, structurées. Les données et les règles de fonctionnement sont également présentées. Le but de cette étape est d'aboutir à un modèle de connaissance.

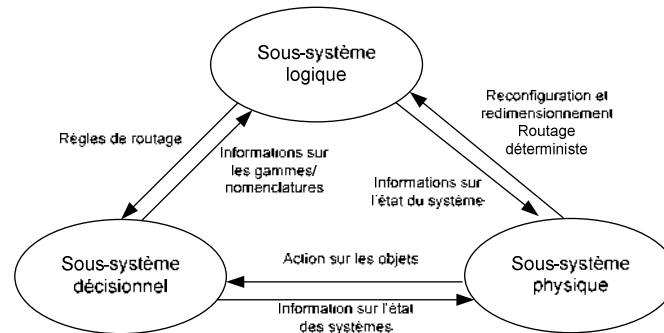
On entend par modèle de connaissance, toute formalisation dans un langage naturel ou graphique de la structure et du fonctionnement du système. Ce modèle doit contenir, entre autres, les informations pertinentes pour résoudre les problèmes posés. Il doit mettre en évidence de manière claire l'ensemble des problèmes induits par les systèmes étudiés. L'obtention du modèle de connaissance d'un système complexe est un processus qui doit être conduit avec beaucoup de rigueur. Il faut, d'une part, conduire une analyse structurelle et fonctionnelle du système et, d'autre part, spécifier les activités et donc les flux qui traversent ce système, et les règles de fonctionnement qui gèrent ces flux.

Pour conduire cette analyse, une décomposition en trois sous systèmes complémentaires et communicants est préconisée par la méthodologie ASCII pour les systèmes complexes:

- Le sous système physique comprend les entités physiques qui composent le système étudié. Il permet de décrire la topologie des unités de production, de stockage, les caractéristiques techniques des moyens de production ainsi que les liens physiques et logiques entre ces moyens.

- Le sous système logique est composé des gammes et nomenclatures des pièces que peut fabriquer le système étudié ainsi que des règles opératoires. La gamme opératoire est constituée des opérations concernant les pièces en termes de moyen de production et de temps de traitement.
- Le sous système décisionnel permet de spécifier l'ensemble des règles de fonctionnement du système. Il est formé d'un ensemble de règles de gestion qui agissent sur les sous systèmes logique et physique.

Les interactions entre les trois sous systèmes sont présentées sur la figure 2-17.



**Figure 2-17. Interaction entre les 3 sous systèmes (ASCI)**

En fonction des informations sur l'état du sous système physique (état des ressources) et du sous système logique (positions des entités de flux, contraintes), le sous système décisionnel a pour but de :

- modifier par ses décisions l'état du sous système physique,
- déterminer l'ordonnancement des entités de flux (choix de l'entité de flux à traiter) et l'affectation des ressources (choix de la ressource allouée),
- gérer l'attribution et la restitution des ressources.

Les interactions entre les sous systèmes physique et logique sont les liens entre les entités de flux et les ressources.

L'étape de spécification est très délicate car elle fixe le niveau de détail et le type d'abstraction, et donc les entités et les types d'événements jugés pertinents. La validation/vérification du modèle de connaissance et des données nécessaires permet de s'assurer que le modèle est homomorphe au système, et qu'il est pertinent relativement aux objectifs de l'étude. Il faut enfin s'assurer que le modèle de connaissance est cohérent et complet par rapport à la méthodologie retenue pour le construire, et par rapport aux savoirs que les acteurs ont de leur système. Cette validation/vérification est effectuée par les acteurs du système et les experts en modélisation aidés par des outils informatiques qui implantent des mécanismes de contrôle systématiques. Le résultat final de cette étape est l'obtention d'un modèle de connaissance approuvé et validé qui devient la référence pour élaborer un modèle informatique dédié au système.

## 8.4. CONCEPTION ET IMPLANTATION

### 8.4.1. CONCEPTION ET IMPLANTATION DU MODELE D'ACTION

Le modèle de connaissance approuvé et validé est l'entrée principale de l'activité d'élaboration du modèle d'action. Le modèle d'action est une traduction du modèle de connaissance dans un formalisme mathématique (par exemple une méthode analytique qui exploite la théorie des réseaux de file d'attente, un modèle informatique, etc.) ou dans un langage de programmation (par exemple un modèle de simulation). Il est exploitable sur ordinateur et fournit des critères de performance du système dont l'analyse peut permettre d'agir sur le système, et donc sur le modèle de connaissance, en modifiant sa structure et son fonctionnement. Plusieurs modèles d'action peuvent être déduits d'un même modèle de connaissance, selon le formalisme choisi et/ou le degré de finesse souhaité. Les plus courants sont les :

- modèles de simulation,
- modèles markoviens,
- modèles analytiques,
- modèles mathématiques (solveur),
- heuristiques,
- métaheuristiques,

- couplages et chaînages sont possibles.

En fait, ces modèles d'action sont déduits à partir du même modèle de connaissance et utilisent la bibliothèque de composants logiciels pour construire le modèle d'action et/ou le degré de finesse implanté dans un modèle d'action. Cette pluralité des modèles d'action débouche sur une panoplie d'outils d'aide à la décision généralement complémentaires : outils de la recherche opérationnelle, outils statistiques, simulation aléatoire à événements discrets. Le(s) modèle(s) d'action dépend(ent) donc de l'outil que l'on veut exploiter, des hypothèses simplificatrices concernant la structure ou le fonctionnement du système et de la description de la charge à laquelle le système est soumis.

C'est à l'aide de la bibliothèque de composants logiciels que sera conçu le modèle d'action retenu pour le système des classes. Cette étape d'élaboration du modèle d'action comporte également la vérification de ce modèle. La vérification consiste à s'assurer que le modèle d'action traduit bien les choix et les hypothèses exprimés par les acteurs dans le modèle de connaissance filtré. Cela revient, en fait, à s'assurer que les mécanismes du formalisme choisi sont bien implantés.

Le résultat final de cette étape est l'obtention du modèle d'action vérifié et le choix de méthodes de la résolution.

#### 8.4.2. CONCEPTION ET IMPLANTATION DU MODELE D' ACTION

L'entrée principale pour élaborer le modèle de résultats est le modèle d'action vérifié. L'exploitation du modèle d'action fournit des résultats à partir desquels on construit un modèle de résultats (quantitatif et qualitatif). On parle ici de modèle de résultats car, pour un même modèle d'action, on choisit les types de résultats qu'on veut obtenir ainsi que la manière de les présenter. Par exemple, l'exploitation d'un modèle de simulation peut fournir une trace de fonctionnement du système qui est ensuite animée, des critères de performances d'entités du système, ou bien encore une analyse statistique d'indicateurs de performance de fonctions du système que l'on structurera par exemple dans un tableau de bord prospectif.

Cette étape comprend la conception des expériences (la planification de la validation et la planification des expériences), la validation du modèle d'action, l'exécution des expériences et, à la fin, la construction du modèle des résultats.

L'élaboration des plans d'expérience fournit la planification de la validation et la planification des expériences. La planification de la validation a pour objectif de choisir les outils et les méthodes de validation en fonction du formalisme choisi et la méthode de résolution du modèle d'action, de déterminer les paramètres (variables) cibles à comparer par mesures sur le système réel, l'analyse de données nécessaire pour la validation...

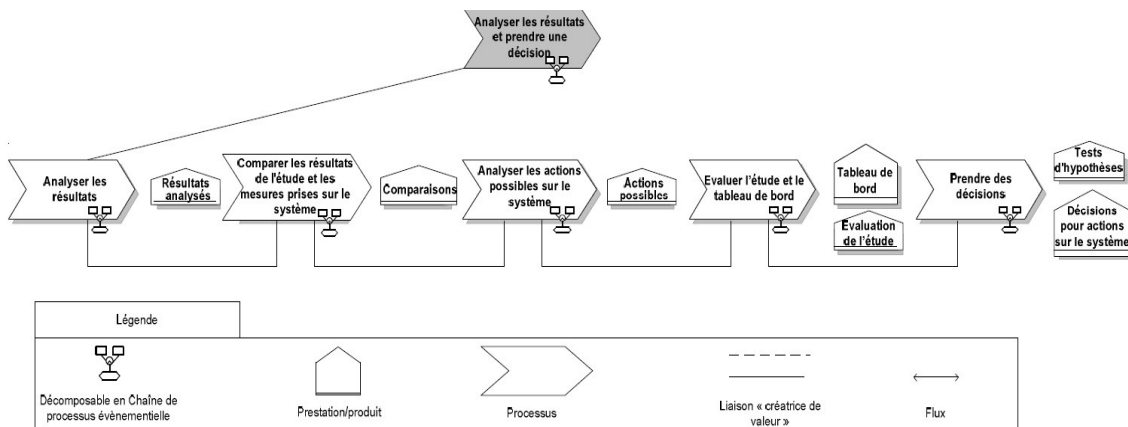


Figure 2-18. Processus de prise de décision ASCI

### 8.5. ANALYSE DES RESULTATS DE L'ETUDE ET PRISE DE DECISIONS

Une fois le modèle de résultats élaboré, le processus de prise de décisions est activé (figure 2-18). Lors de cette étape du processus de modélisation, les experts en modélisation, les acteurs et les managers du système examinent le(s) modèle(s) de résultats obtenus. En fonction de l'analyse des résultats, des décisions sont prises pour agir sur le système et/ou pour tester des hypothèses nécessitant des modifications du modèle de connaissance, ceci en vue d'améliorer les performances qualitatives ou quantitatives du système. En d'autres termes, soit on intervient sur le système et le processus de modélisation est terminé, soit on réitère le processus

de modélisation. Les managers du système modélisé prennent leur décision à l'aide d'un tableau de bord prospectif, comparable à celui qu'ils utilisent pour piloter leurs activités réelles.

### **8.6.SYNTHESE DE LA METHODOLOGIE**

La méthodologie de modélisation présentée est un cadre conceptuel global et générique permettant de traiter entièrement un problème en partant de l'analyse de la problématique à l'analyse des résultats. Par nature, cette méthodologie fournit un cadre d'étude mais exige l'implication des experts et ne soustrait aucunement à leur prise de décision. Ainsi, les questions de granularité du modèle, du choix de langage de modélisation, du mode de passage entre modèle de connaissance et modèle d'action restent ouvertes. Concernant le choix de modélisation, les formalismes courant de modélisation peuvent être employés, le choix étant guidé par l'objectif de l'étude. Il est possible de rappeler les travaux de (Tchernev, 1997), (Sarramia, 2002), (Grangeon, 2001), (Fenies, 2006). Le choix du modèle d'action est de la même façon effectué. Ainsi dans les chapitres suivants où la méthodologie sera employée le choix du formalisme du modèle de connaissance, le choix du modèle d'action ainsi que les règles de passage seront détaillés.





## CHAPITRE 3 : MODELISATION ET OPTIMISATION POUR LA PLANIFICATION TACTIQUE DES CHAINES LOGISTIQUES

<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>79</b>
<b>2. MODELISATION DES PROBLEMES DE PLANIFICATION TACTIQUE DES CHAINES LOGISTIQUES</b>	<b>79</b>
2.1. MODELE DE CONNAISSANCE SYSTEMIQUE DES CHAINES LOGISTIQUES .....	79
2.2. LIMITATION DU DOMAINE D'ETUDE FOCALISE SUR LA PLANIFICATION DE PRODUCTION .....	81
2.3. MODELE MATHEMATIQUE GENERIQUE DE PLANIFICATION TACTIQUE DES CHAINES LOGISTIQUES .....	85
2.4. CODAGE DE LA SOLUTION .....	89
2.5. REPRESENTATION D'UNE SOLUTION A L'AIDE D'UN GRAPHE.....	89
2.6. ARCHITECTURE DE LA METHODE ET VOISINAGES .....	91
<b>3. APPLICATION DES METHODES APPROCHEES SUR UN CAS D'ETUDE .....</b>	<b>102</b>
3.1. DESCRIPTION DU CAS D'ETUDE .....	102
3.2. MODELE DE PLANIFICATION TACTIQUE .....	103
3.3. MODELE DE PLANIFICATION DE VÖROS.....	104
3.4. DEFINITION DES METAHEURISTIQUES EMPLOYEES ET DES INSTANCES TRAITEES .....	105
3.5. RESULTATS DU MODELE DE VÖROS.....	105
3.6. RESOLUTION DU CAS D'ETUDE .....	106
<b>4. CONCLUSION.....</b>	<b>107</b>

## 1. INTRODUCTION

Ce chapitre se focalise sur la problématique de la planification tactique des chaînes logistiques. Les chapitres précédents ont souligné l'absence d'un modèle mathématique de référence pour la planification tactique des chaînes logistiques. L'objectif de ce chapitre est donc de remédier partiellement à cette carence en proposant un modèle mathématique de planification des chaînes logistiques assurant prioritairement la synchronisation des plans de production ainsi que des méthodes de résolution dédiées à ce problème.

Nous proposons dans un premier temps d'appliquer les phases d'analyse et de spécification de la méthodologie ASCI au domaine des chaînes logistiques pour élaborer un modèle de connaissance générique des chaînes logistiques dans le but de générer un modèle mathématique de planification tactique.

Après avoir discuté de la pertinence d'un modèle mathématique générique pour la planification tactique pour l'ensemble des chaînes logistiques, nous déduirons du modèle de connaissance systémique un modèle mathématique dédié à la planification des chaînes logistiques dite à nomenclature convergente.

Compte tenu de l'état de l'art effectué au chapitre 2 sur la performance des méthodes d'optimisation pour la résolution de problèmes de planification multi niveau, nous proposons dans un second temps un ensemble de codages et de voisinages dédiés à notre problématique pour l'instanciation de méthodes d'optimisation de type recuit simulé. Pour finir, nous présentons une application industrielle et mettons en œuvre le modèle et les méthodes d'optimisation présentés dans les sections précédentes. Une analyse de performance de cette dernière est effectuée en présentant des résultats à partir du modèle du cas d'étude mais également sur un modèle de la littérature proche du notre. Ce chapitre a fait l'objet d'une publication dans une revue nationale (Comelli et Lemoine, 2008) (b).

## 2. MODELISATION DES PROBLEMES DE PLANIFICATION TACTIQUE DES CHAINES LOGISTIQUES

### 2.1. MODELE DE CONNAISSANCE SYSTEMIQUE DES CHAINES LOGISTIQUES

L'état de l'art sur les modèles de planification tactique des chaînes logistiques présenté au chapitre 2 a montré qu'il n'existait pas actuellement de modèle mathématique générique pour la planification tactique de l'ensemble des chaînes logistiques.

Nous nous proposons dans un premier temps d'appliquer la méthodologie ASCI pour développer un modèle de connaissance systémique et générique à l'ensemble des chaînes logistiques axé sur la problématique de la planification tactique. Pour cela, nous considérons que l'objectif de la planification tactique consiste en :

« L'élaboration de plans de production, de transport et d'entreposage de chaque entité de la chaîne logistique sur un horizon de planification de manière à déterminer quelle sera la demande client satisfaite et de quelle manière cette dernière sera satisfaite ». Nous reprenons alors la décomposition en trois sous systèmes (physique, logique et décisionnel) et présentons pour chacun un modèle en langage UML. Chaque sous système est modélisé de telle manière à appréhender le problème de planification des chaînes logistiques. La maille de modélisation des sous systèmes physique et logique est donc adaptée à la granularité nécessaire pour un problème de planification tactique (ressource agrégée). Concernant le sous système décisionnel, celui-ci est décrit de manière à refléter la nature d'un problème de planification, c'est-à-dire l'élaboration de plans de production et de transport sous contraintes.

#### 2.1.1. LE SOUS SYSTEME PHYSIQUE

Le sous système physique est donc défini par les usines, les stocks (entrepôts) ainsi que les moyens de transport reliant les entités entre elles. Chaque usine est composée de différentes ressources physiques (machines, main d'œuvre) à capacité limitée. De la même manière, chaque stock et chaque moyen de transport sont supposés à capacité finie. Nous présentons le sous système physique à l'aide d'un diagramme de classe UML (figure 3-1).

#### 2.1.2. LE SOUS SYSTEME LOGIQUE

Le sous système logique est composé de l'ensemble des flux physiques traversant la chaîne logistique, c'est-à-dire les matières premières (MP), les produits semi-finis, les composants ainsi que les commandes clients fermes ou prévisionnelles (figure 3-2).

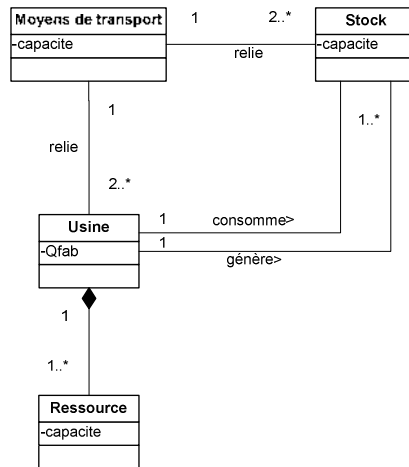


Figure 3-1. Diagramme de classe du sous système physique d'un problème de planification tactique des chaînes logistiques

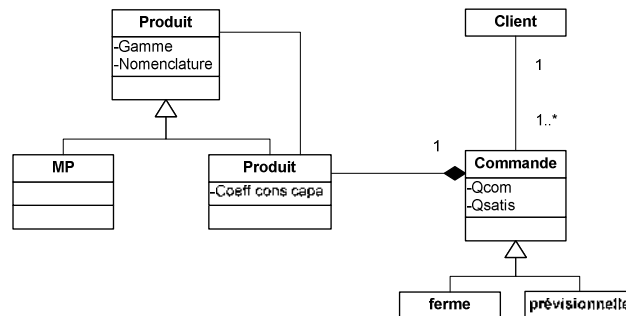


Figure 3-2. Diagramme de classe du sous système logique d'un problème de planification tactique des chaînes logistiques

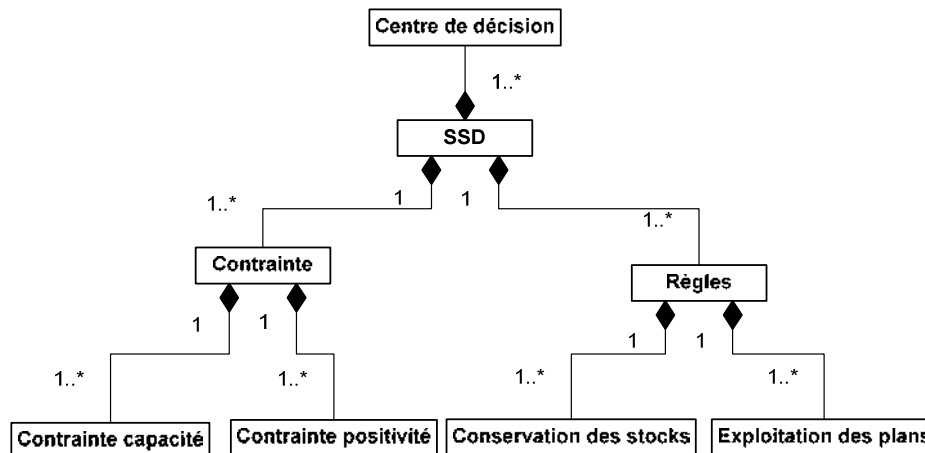


Figure 3-3. Diagramme de classe du sous système décisionnel d'un problème de planification tactique des chaînes logistiques

### 2.1.3. LE SOUS SYSTEME DECISIONNEL

Le sous système décisionnel agit sur le sous système logique et sur le sous système physique. L'objectif du modèle n'étant pas de décrire le pilotage de la chaîne logistique, nous définissons le sous système décisionnel (figure 3-3) par :

- l'application des contraintes spécifiques à un problème de planification :
  - contraintes de conservation des stocks,
  - contraintes de capacité,
  - contraintes de positivité.
- l'application de règles de gestion :
  - calcul de conservation des stocks,
  - méthodes de calcul (des lancements de campagne),
  - un centre de décision dont l'objectif est de générer des plans de production minimisant une fonction objectif.

### 2.1.4. LE MODELE DE CONNAISSANCE SYSTEMIQUE DES CHAINES LOGISTIQUES

Le modèle de connaissance systémique est représenté par le diagramme UML ci-dessous (figure 3-4). Nous y retrouvons les trois sous systèmes décrits précédemment ainsi que les liens qui les relient deux à deux. Les liens entre sous systèmes logique et physique traduisent les flux logistiques de fabrication, transport et stockage des produits par les entités. Ainsi, ils caractérisent une solution du problème de planification tactique des chaînes logistiques qui consiste à déterminer pour chaque entité, usine, moyen de transport, stock, client, les quantités fabriquées, transportées, stockées et la demande satisfaite. Les liens avec le sous système décisionnel traduisent l'application des contraintes de capacité et de positivité sur les sous systèmes physique et logique.

## 2.2. LIMITATION DU DOMAINE D'ETUDE FOCALISE SUR LA PLANIFICATION DE PRODUCTION

### 2.2.1. LIMITATION DU DOMAINE D'ETUDE A LA SYNCHRONISATION DES PLANS DE PRODUCTION

Avant de proposer un modèle mathématique générique pour la planification des chaînes logistiques, il semble important de réfléchir à la pertinence d'un modèle générique et exhaustif. Sur un horizon moyen terme, dans la plupart des cas industriels, les problématiques de transport n'interfèrent pas dans les prises de décision de la planification de production. En effet, les contraintes et les coûts de transport ne se sont pas considérés comme critiques. Dans ce cas, la planification tactique des chaînes logistiques se limite essentiellement en la détermination des quantités produites par usine. Les problématiques de transport telles que l'acheminement des produits sont alors considérées comme secondaires. De plus, compte tenu de la complexité algorithmique des problématiques de planification mono niveau, il paraît illusoire dans un premier temps de vouloir traiter efficacement des problématiques de production multi site auxquels s'ajoutent des problématiques de transport. En tenant compte de ces remarques, il nous apparaît alors pertinent de proposer un modèle où les contraintes de transport sont négligées et où l'objectif est de générer des plans de production synchronisés pour chaque usine. Nous entendons par « synchronisé » le fait que les plans de production s'assurent que les composants nécessaires à la production d'un produit ont été fabriqués précédemment par d'autres entités de la chaîne logistique. De même, il nous apparaît également approprié de limiter dans un premier temps notre modèle à la planification de produits à nomenclature convergente. Le fait de focaliser notre modèle sur la synchronisation des plans de production et de ne pas considérer les contraintes de transport ainsi que la provenance des produits, nous amène à l'hypothèse suivante :

A chaque produit est affecté un stock unique. Ceci permet alors de lier la production et la consommation du produit à l'ensemble des entités et par suite d'assurer la synchronisation des productions grâce à la contrainte de conservation des stocks.

### 2.2.2. MODELE DE CONNAISSANCE SYSTEMIQUE RESTREINT A LA PROBLEMATIQUE DE SYNCHRONISATION DES PLANS DE PRODUCTION

Nous présentons le modèle de connaissance générique des chaînes logistiques pour leur planification tactique restreint à la problématique de synchronisation des plans de production. Dans ce modèle, les moyens de transport en tant qu'éléments du système physique ne sont plus considérés. Par ailleurs, l'unicité du stock pour un produit est représentée par un lien de composition (figure 3-5).

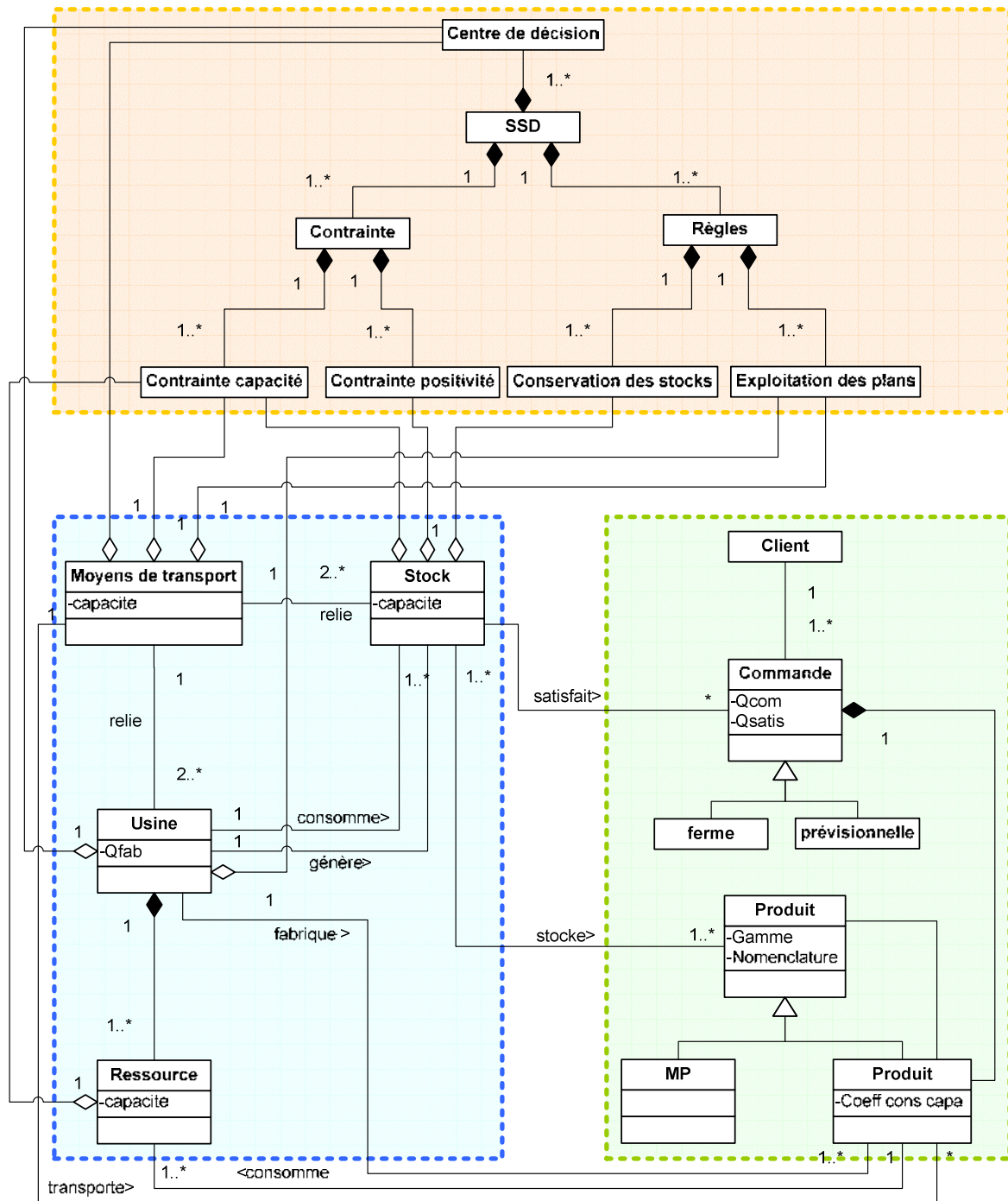


Figure 3-4. Modèle de connaissance global UML d'un problème de planification tactique des chaînes logistiques

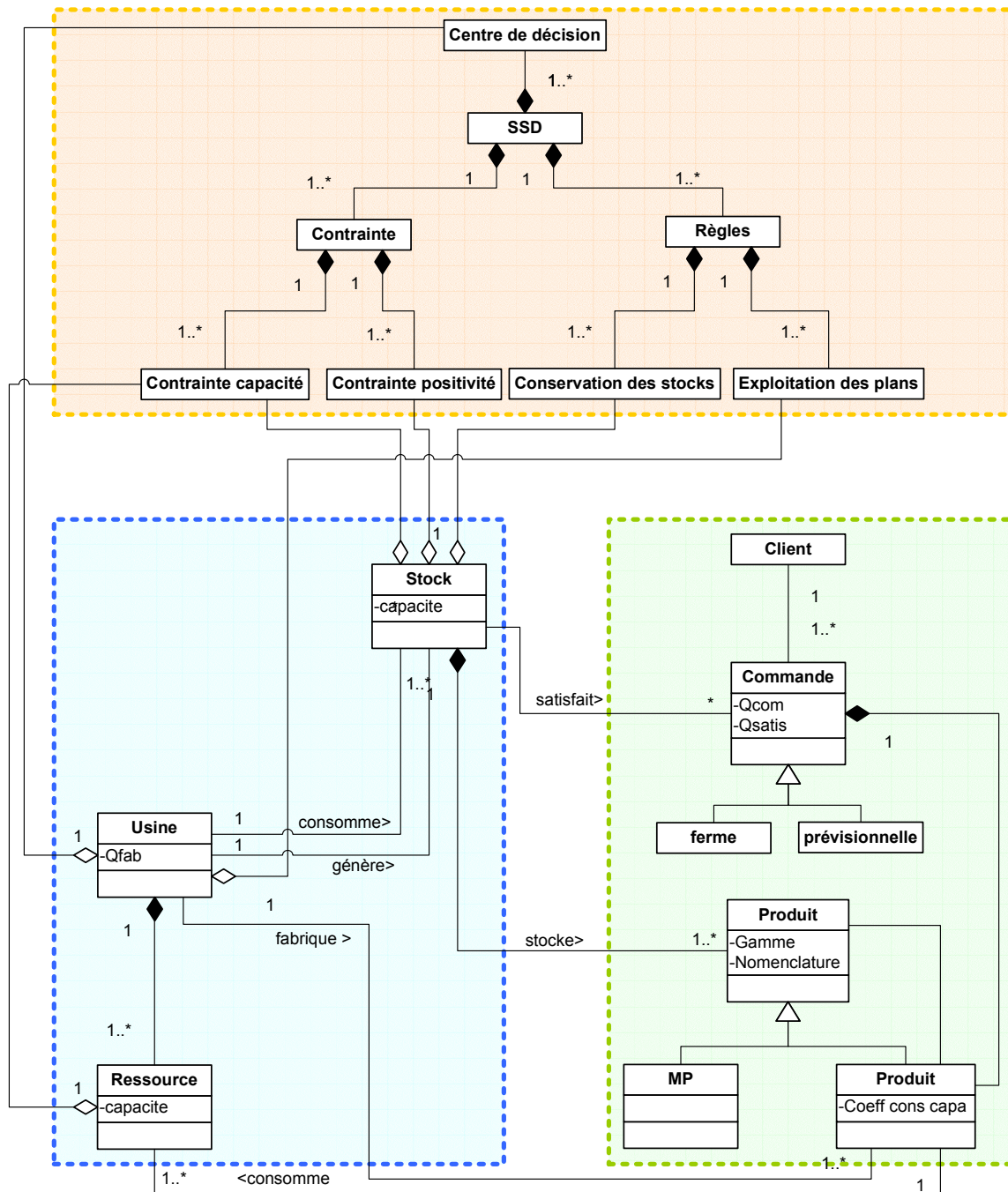


Figure 3-5. Modèle de connaissance restreint d'un problème de planification tactique des chaînes logistiques

## 2.2.3. REMARQUES

Cette hypothèse permet de générer un modèle de planification tactique générique prenant en compte l'ensemble des topologies des chaînes logistiques et l'ensemble des nomenclatures convergentes de produits permettant d'assurer la synchronisation des plans de production tactiques de chaque entité de production. Nous insistons sur le fait que l'hypothèse effectuée néglige les liens entre usines ainsi que la provenance et la destination de chaque production. Néanmoins pour assurer la synchronisation, il est nécessaire de modéliser les délais de livraison des produits entre usines.

Nous supposons alors que le lead time entre les usines est composé d'un lead time de livraison jusqu'à un centre de stockage théorique et d'un lead time d'approvisionnement entre le point de stockage et l'usine cliente. La figure 3-7 illustre la conséquence de cette hypothèse. Sur la figure 3-6, nous considérons deux usines U1 et U2 qui fournissent deux usines U4 et U6. Nous supposons que chaque usine fournisseuse peut fournir les deux usines clientes avec un certain lead time. Dans la figure 3-7, nous supposons l'hypothèse d'unicité des stocks. S'il existe une trop grande inhomogénéité au niveau des lead times considérés, il est alors impossible de modéliser le cas de la figure 3-6.

Cette segmentation en deux lead times limite donc l'applicabilité de notre modèle au cas où il est possible de se ramener à cette décomposition. Pour conclure sur l'applicabilité de cette hypothèse, il est évident que celle-ci ne peut être utilisée que pour la planification des chaînes logistiques où les contraintes de transport sont à priori secondaires. Cela signifie que nous supposons :

- une capacité de transport suffisante pour supposer le transfert des produits après planification,
- le fait que la provenance des produits ne soit pas primordiale. Ceci se traduit par une homogénéité en termes de coût, de capacité et de lead time au niveau des liens entre usines.

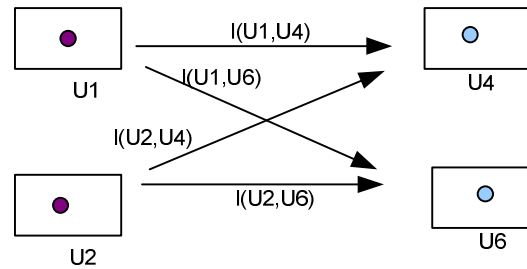


Figure 3-6. Cas générique de lead times entre usines

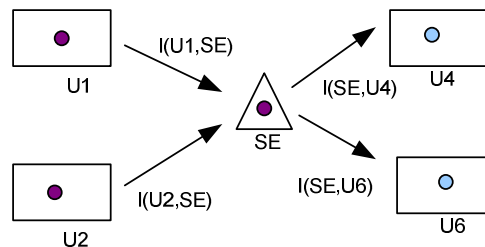


Figure 3-7. Proposition prise en compte de lead times entre usines

## 2.3. MODELE MATHEMATIQUE GENERIQUE DE PLANIFICATION TACTIQUE DES CHAINES LOGISTIQUES

### 2.3.1. PASSAGE DU MODELE DE CONNAISSANCE SYSTEMIQUE AU MODELE MATHEMATIQUE

Nous désirons dans cette partie expliciter la génération du modèle de planification à partir d'un modèle de connaissance systémique. Pour cela, nous spécifions la problématique de la planification tactique des chaînes logistiques restreinte à la synchronisation des plans de production. Nous considérons donc une chaîne logistique constituée de K usines, fabriquant et délivrant N produits. L'objectif de l'étude est de générer sur un horizon de planification de T périodes, les plans de production pour chaque usine de telle façon à minimiser les coûts logistiques engendrés. Nous considérons une demande client exprimé par une matrice  $D_{it}$  où  $D_{it}$  représente la demande en produit fini i à la fin de la période t. Cette demande peut être satisfaite entièrement ou non.  $DP_{it}$  représente alors la demande externe perdue en produit i durant la période t, et  $DS_{it}$  représente alors la demande externe satisfaite en produit i durant la période t.

Pour chaque produit fini i, nous considérons sa nomenclature par la matrice « gozinto »  $a_{ij}$  où  $a_{ij}$  représente le nombre d'entités de produit i nécessaire pour produire une unité de produit j où i est le prédécesseur immédiat de j dans la nomenclature. Nous considérons par ailleurs la gamme de chaque produit i en définissant un ensemble  $N(i)$  représentant l'ensemble des usines pouvant fabriquer le produit i.

Les usines sont modélisées par une capacité  $C_{jt}$  où  $C_{jt}$  représente la capacité maximale disponible à l'usine j durant la période t. Nous considérons pour chaque produit i fabriqué sur une usine k un délai de fabrication  $l_{ik}$ .

Etant donnée l'hypothèse d'unicité des stocks, nous considérons une capacité infinie de stockage.

Les plans de production peuvent être modélisés par une matrice  $Q_{ikt}$  où  $Q_{ikt}$  représente la quantité de produit i fabriquée par l'usine k durant la période t. Nous considérons pour chaque plan de production le lancement d'une production du produit i sur l'usine k à la période t,  $X_{ikt}$ .

Nous considérons pour chaque produit i un stock  $I_{it}$  où  $I_{it}$  représente la quantité de produit disponible à la période t.

Les coûts considérés sont les coûts générés par :

- le stockage d'un produit i à la période t ( $h_{it}$ ),
- le lancement d'une production d'un produit i sur une usine k à une période t ( $s_{it}$ ),
- la perte de demande du produit i à la période t ( $r_{it}$ ).

Nous intégrons les données du problème de planification au sein du modèle de connaissance systémique et définissons alors un modèle de classe technique des chaînes logistiques. Nous déduisons par suite le modèle mathématique de planification par lecture du modèle de classe technique (figure 3-8). Ainsi pour la contrainte de conservation des stocks, nous retrouvons par lecture du modèle que le stock est généré et consommé par des usines ainsi que par la satisfaction de la demande.

Les liens entre l'entité Produit et l'entité Usine nous permettent de déduire les usines qui fabriquent ce produit, et celles qui le consomment grâce à la nomenclature ( $a_{ij}$ ) et à la gamme ( $N(i)$ ). La prise en compte des lead times nous permet de synchroniser les périodes entre elles.

Nous en déduisons alors la contrainte suivante :

$$I_{i,t+1} = I_{i,t} + \sum_{k \in N(i)} Q_{i,k,t+1} - I_{i,k} - \sum_{j \in S(i)} a_{ij} \times \sum_{k \in N(j)} Q_{j,k,t+1} - DS_{i,t+1} \quad (3)$$

$$\forall (i,t) \in [1, N] \times [0, T-1]$$

De la même façon, nous déduisons l'ensemble des contraintes du modèle présenté dans la section suivante.

### 2.3.2. MODELE MATHEMATIQUE DE PLANIFICATION TACTIQUE

Tenant compte de l'hypothèse mentionnée précédemment, nous proposons un modèle générique de planification tactique permettant de prendre en compte l'ensemble des topologies de chaîne logistique et l'ensemble des nomenclatures convergentes. Ce modèle est un modèle de planification tactique et ne considère pas les contraintes de transport, le but de ce modèle étant de synchroniser sur un horizon moyen terme les plans de production de plusieurs sites. La génération de ce modèle a été obtenue à partir du modèle de connaissance précédemment proposé et de l'ajout de la contrainte concernant l'unicité du stock.



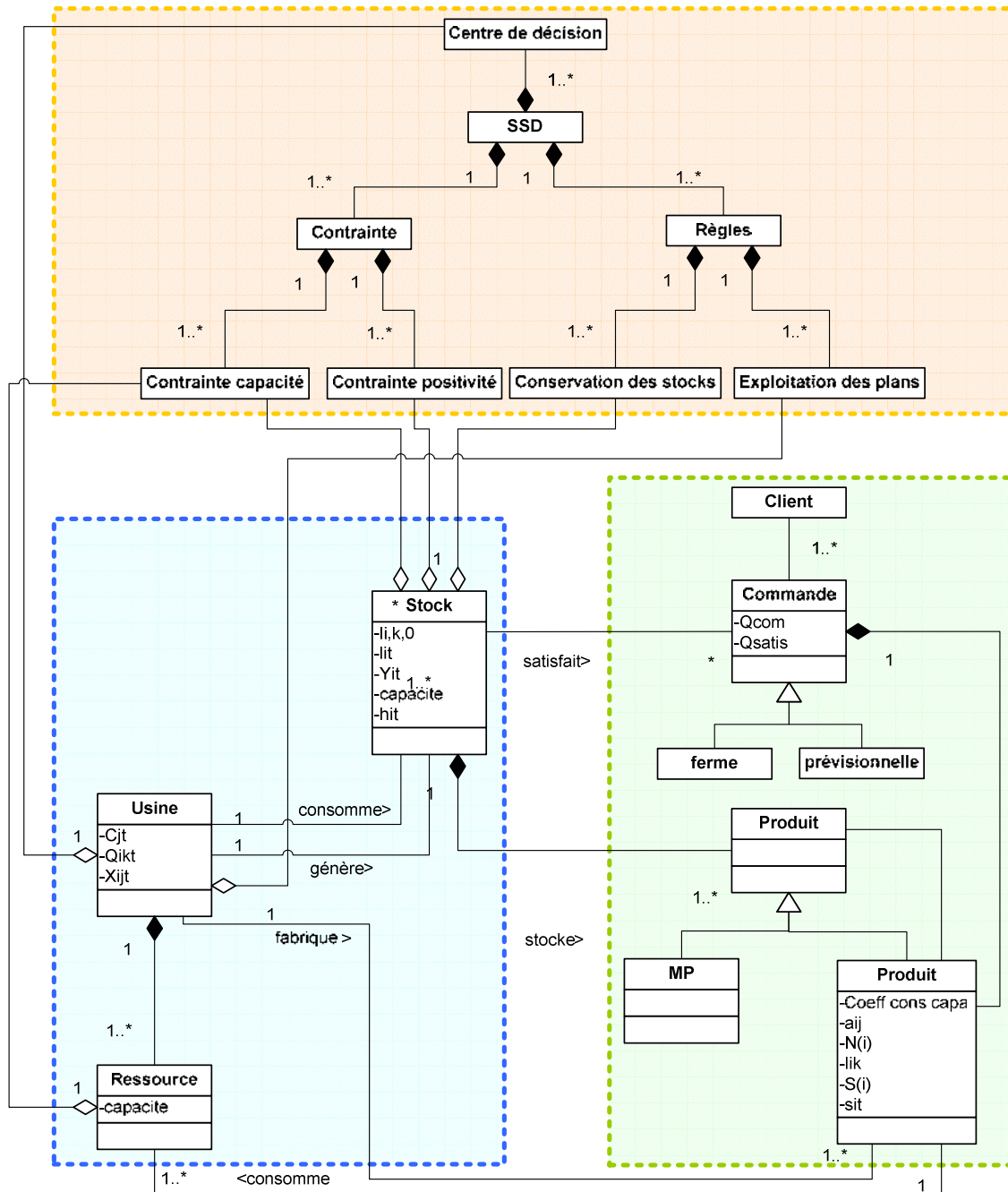


Figure 3-8. Modèle de classe technique d'une chaîne logistique

Nous considérons  $N$  articles dont  $N'$  d'entre eux sont des produits finis. Nous considérons une nomenclature représentée par la matrice « gozinto »  $a_{ij}$  où  $i$  est le prédécesseur immédiat de  $j$  dans la nomenclature. Chaque article  $i$  peut être produit dans une ou plusieurs usines ( $P$  usines) et chaque usine peut fabriquer un ou plusieurs composants. Un stock  $i$  représente pour l'ensemble de la chaîne logistique la quantité de stock  $i$  pour chaque période.

Les paramètres de ce modèle sont les suivants :

- $T$  : Longueur (en périodes) de l'horizon de planification,
- $N$  : Nombre de produits (finis ou composants) à planifier,
- $P$  : Ensemble des usines composant la chaîne logistique,
- $N(i)$  : Ensemble des usines fabriquant le produit  $i$  de la chaîne logistique,
- $D_{it}$  : Demande en produit fini  $i$  à la fin de la période  $t$ ,
- $I_{i,k,0}$  : Quantité initiale en produit  $i$  dans le stock  $k$ ,
- $C_{jt}$  : Capacité maximale disponible à l'usine  $j$  durant la période  $t$ ,
- $h_{it}$  : Coût de stockage pour un produit  $i$  entreposé dans le stock  $k$  durant la période  $t$ ,
- $s_{it}$  : Coût de lancement de campagne pour le produit  $i$  durant la période  $t$ ,
- $r_{it}$  : Coût de demande perdue pour un produit  $i$  durant la période  $t$ ,
- $a_{ij}$  : Nombre d'entités de produit  $i$  nécessaire pour produire une unité de produit  $j$  où  $i$  est le prédécesseur immédiat de  $j$  dans la nomenclature,
- $S(i)$  : Ensemble des prédécesseurs du produit  $i$  dans la nomenclature ( $j \in S(i)$  si et seulement si  $a_{ij} \neq 0$ ),
- $l_{ik}$  : Lead time du produit  $i$  pour l'usine  $k$ .

Les variables de décision du modèle sont :

- $Q_{ikt}$  : Quantité de produit  $i$  fabriquée par l'usine  $k$  durant la période  $t$ ,
- $X_{ikt}$  : Variable binaire qui prend la valeur 1 s'il y a un lancement de campagne pour le produit  $i$  dans l'usine  $k$  à la période  $t$ ,
- $I_{it}$  : Quantité de produit  $i$  stockée durant la période  $t$ ,
- $DP_{it}$  : Demande externe perdue en produit  $i$  durant la période  $t$ ,
- $DS_{it}$  : Demande externe satisfaite en produit  $i$  durant la période  $t$ .

L'objectif (1) de notre modèle est donc :

$$\text{Minimiser } \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \left[ s_{it} \left( \sum_{k \in N(i)} X_{ikt} \right) + h_{it} I_{it} + r_{it} DP_{it} \right] \quad (1)$$

La contrainte (2) détermine la quantité de demande perdue :

$$D_{it} = DS_{it} + DP_{it} \quad \forall (i, t) \in [1, N] \times [1, T] \quad (2)$$

La contrainte (3) est la contrainte d'équilibre des stocks pour le produit  $i$  concernant les composants de la chaîne logistique :

$$I_{i,t+1} = I_{i,t} + \sum_{k \in N(i)} Q_{i,k,t+1-l_{i,k}} - \sum_{j \in S(i)} a_{ij} \times \sum_{k \in N(j)} Q_{j,k',t+1} - DS_{i,t+1} \quad (3)$$

$$\forall (i, t) \in [1, N] \times [0, T-1]$$

Cette équation suppose la prise en compte d'un délai de livraison  $l_{i,k}$  par produit  $i$  et par usine  $k$  permettant de modéliser plus finement la disponibilité des produits.

La suivante (4) détermine les lancements de campagne :

$$\begin{cases} Q_{ikt} \leq C_{kt} \times X_{ikt} & \forall (i, t) \in [1, N] \times [1, T], \\ Q_{ikt} \geq X_{ikt} & \forall k \in N(i) \end{cases} \quad (4)$$

La contrainte (5) est la contrainte de capacité :

$$\sum_{i=1}^N Q_{ikt} \leq C_{kt} \times X_{ikt} \quad \forall (k, t) \in [1, P] \times [1, T] \quad (5)$$

Les dernières contraintes (6) et (7) sont les contraintes d'intégrité et de positivité :

$$X_{ikt} \in \{0, 1\} \quad \forall (i, k, t) \in [1, N] \times [1, P] \times [1, T] \quad (6)$$

$$\begin{aligned}
Q_{ikt} &\geq 0 \quad \forall (i,k,t) \in [1,N] \times [1,P] \times [1,T] \\
Y_{it}, I_{it} &\geq 0 \quad \forall (i,t) \in [1,N] \times [1,T] \\
DS_{it}, DP_{it} &\geq 0 \quad \forall (i,t) \in [1,N] \times [1,T]
\end{aligned} \quad (7)$$

### 2.3.3. MODELISATION DE LA CONSOMMATION DES STOCKS

La majorité des modèles de planification multi niveau est basée sur des contraintes de conservation des stocks formulées de la manière suivante :

$$\begin{aligned}
I_{i,t+1} &= I_{i,t} + \sum_{k \in N(i)} Q_{i,k,t+1-I_{i,k}} - \sum_{j \in S(i)} a_{ij} \times \sum_{k \in N(j)} Q_{j,k',t+1} - DS_{i,t+1} \quad (3) \\
\forall (i,t) &\in [1,N] \times [0,T-1]
\end{aligned}$$

Cette modélisation suppose que la demande satisfaite à la période t peut l'être grâce à la quantité en stock t-1 et à la quantité livrée durant la période t. Cela signifie que la demande est satisfaite tout au long de la période t, et qu'à tout moment de cette période la quantité en stock est supérieure à la demande.

Néanmoins, pour certains cas d'étude industriels, la livraison est effectuée à la fin de la période (livraison quotidienne ou hebdomadaire), alors que la satisfaction client peut être réalisée au cours de cette période. Dans ce cas, la demande satisfaite ne peut être supérieure à la quantité en stock à la période t-1. Afin de prendre en compte cette réalité industrielle, nous proposons une contrainte dite de périodicité.

La contrainte (8) est la contrainte de périodicité pour les stocks de N produits. La fabrication d'un produit i durant la période t+1 est limitée par la quantité en stock i à la fin de la période t :

$$\sum_{j \in S(i)} \sum_{k \in N(j)} a_{ij} \times Q_{j,k,t+1} \leq I_{i,t} \quad \forall (i,t) \in [1,N] \times [1,T] \quad (8)$$

La contrainte (9) représente la contrainte de périodicité concernant la demande servie :

$$DS_{i,t+1} \leq I_{i,t} \quad \forall (i,t) \in [1,N] \times [1,T] \quad (9)$$

Cette contrainte nous amène à définir la notion de surplus. Nous définissons

$Y_{it}$  : Quantité de produit i en surplus stockée durant la période t.

Dans ce cas, seul le stock restant au moins une période est valorisé, c'est-à-dire la quantité de stock en fin de période moins la consommation au cours de la période suivante.

$$Y_{i,t} = I_{i,t} - \sum_{j \in S(i)} a_{ij} \sum_{k \in N(j)} Q_{j,k',t+1} - DS_{i,t} \quad \forall (i,t) \in [1,N] \times [0,T-1] \quad (10)$$

Cette contrainte est une contrainte totalement modulaire qui peut être adjointe ou non au modèle générique.

Ce surplus sera donc imputé dans la fonction objectif, on définit donc

$g_{it}$  : Coût de stockage pour un produit i entreposé dans le stock k durant la période t,

L'objectif (1') de notre modèle devient :

$$\text{Minimiser } \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \left[ s_{it} \left( \sum_{k \in N(i)} X_{ikt} \right) + g_{it} Y_{it} + r_{it} DP_{it} \right] \quad (1'')$$

### 2.3.4. EXTENSIONS PROPOSEES

Compte tenu de la définition donnée du PIC et du master planning, il peut être pertinent de considérer les capacités de production comme variables grâce à l'adjonction de capacités spécifiques (heures supplémentaires ou intérimaires) ou l'emploi de sous-traitance. Nous définissons ainsi :

$$Q_{i,k,t} = QN_{i,k,t} + QHS_{i,k,t} + QST_{i,k,t} \quad \forall (i,k,t) \in [1,N] \times [1,P-1] \times [0,T-1] \quad (11)$$

où

$Q_{ikt}$  : Quantité de produit i fabriquée par l'usine k durant la période t,

$QN_{ikt}$  : Quantité de produit i fabriquée par l'usine k durant la période t en heures normales,

$QHS_{ikt}$  : Quantité de produit i fabriquée par l'usine k durant la période t en heures spécifiques,

$QST_{ikt}$  : Quantité de produit i fabriquée par l'usine k durant la période t en sous-traitance,

$NC_{ikt}$  : Coût de production d'un produit  $i$  sur l'usine  $k$  à la période  $t$  en production normale  
 $HS_{ikt}$  : Coût de production d'un produit  $i$  sur l'usine  $k$  à la période  $t$  en heure supplémentaire,  
 $ST_{ikt}$  : Coût de production d'un produit  $i$  sur l'usine  $k$  à la période  $t$  en heure de sous-traitance.

La contrainte de capacité est alors remplacée par ces trois contraintes qui limitent l'emploi des variables  $QN_{i,k,t}$ ,  $QHS_{i,k,t}$  et  $QST_{i,k,t}$ .

$$\sum_{i=1}^N QN_{ikt} \leq C_{kt} \quad \forall (k,t) \in [1,P] \times [1,T] \quad (5')$$

$$\sum_{i=1}^N QHS_{ikt} \leq \alpha_k \times C_{kt} \quad \forall (k,t) \in [1,P] \times [1,T] \quad (5'') \text{ avec } \alpha_k \text{ coefficient de limitation des capacités spécifiques sur l'usine } k.$$

$$\sum_{i=1}^N QST_{ikt} \leq \beta_k \times C_{kt} \quad \forall (k,t) \in [1,P] \times [1,T] \quad (5''') \text{ avec } \beta_k \text{ coefficient de limitation de l'emploi de sous-traitance sur l'usine } k.$$

La nouvelle fonction objectif se traduit alors de la manière suivante :

$$\text{Minimiser } \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \left[ \left( \sum_{k=1}^P (NC_{ikt} \times QN_{ikt} + HS_{ikt} \times QHS_{ikt} + ST_{ikt} \times QST_{ikt} + s_{it} X_{ikt}) \right) + h_{it} Y_{it} + r_{it} DP_{it} \right] \quad (1'')$$

### 2.3.5. REMARQUES

Au vu de l'état de l'art présenté dans le chapitre 2, le modèle proposé précédemment est une généralisation d'un MLCLSP. La distinction principale entre les deux modèles réside dans le fait que le MLCLSP suppose qu'un produit ne peut être produit que sur une seule usine contrairement au modèle proposé qui adjoint à la problématique multi niveau une problématique d'allocation de production. Le MLCLSP est donc une instantiation de notre modèle, tout comme l'ensemble des modèles dont le MLCLSP est une généralisation.

## 2.4. CODAGE DE LA SOLUTION

Une solution du modèle de planification est caractérisée par l'ensemble des matrices  $Q_{ikt}$  représentant les plans de production pour chaque usine. Définir un codage de la solution du modèle consiste donc à définir un codage pour ces matrices  $Q_{ikt}$ . Deux types de codage de solution peuvent être employés (Kuik et Salomon, 1994) pour représenter les matrices  $Q_{ikt}$  : le premier consiste à utiliser directement une matrice identique au plan de production, où l'élément  $Q_{ikt}$  de la matrice représente la quantité de produit  $i$  fabriquée sur l'entité  $k$  à la période  $t$ . Le second codage consiste à utiliser une matrice  $P$  où l'élément  $P_{ikt}$  de la matrice est une variable binaire qui vaut 1 s'il y a une production de produit  $i$  à l'entité  $k$  à la période  $t$  sinon 0. Ce codage implique alors l'utilisation d'une heuristique de répartition pour déterminer les valeurs de la matrice  $Q_{ikt}$ , (figure 3-9)

$$P = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad Q = \begin{pmatrix} 20 & 0 & 0 & 15 & 0 \\ 30 & 0 & 70 & 0 & 0 \\ 0 & 50 & 0 & 30 & 0 \end{pmatrix}$$

**Figure 3-9. Codages utilisés pour les problèmes de lot sizing**

Etant donné qu'il n'existe pas d'algorithme efficace permettant de déduire d'une matrice de setup un plan optimum en termes de coût, on remarque que le codage binaire risque d'exclure les solutions optimales de l'espace des solutions considérées. Pour ces raisons, nous utilisons par la suite le codage par quantité.

## 2.5. REPRESENTATION D'UNE SOLUTION A L'AIDE D'UN GRAPHE

### 2.5.1. DEFINITION

Les paragraphes précédents ont insisté longuement sur la complexité des problèmes de planification multi niveau. De manière à expliciter plus aisément le fonctionnement des voisinages, nous nous proposons de représenter une solution de notre modèle à l'aide d'un graphe.

Pour cela, nous employons les notations définies à la section précédente et définissons une matrice d'affectation des produits aux usines notée  $M$ , où  $m_{ik}=1$  si le produit est fabriqué sur l'usine  $k$ .

Nous considérons alors  $G(X, U)$  le graphe orienté correspondant à la nomenclature des produits où  $X$  représente les articles de la nomenclature et  $U$  les arcs (liens de nomenclature entre produits). Nous affectons à chaque nœud  $i$  du graphe orienté un stock noté  $I_{ij}$  où  $I_{ij}$  représente la quantité de produit  $i$  en stock (ou surplus) à la période  $j$ . Nous affectons par ailleurs à chaque nœud  $i$  les matrices  $Q_{ijk} / m_{ik}=1$ .

Nous affectons à chaque arc  $u(i, i')$  du graphe les valeurs  $l_{i',k}$  correspondant au délai de livraison par l'usine  $k$  du produit  $i'$  de l'extrémité terminale (avec  $m_{i',k}=1$ ). Pour des arcs ayant la même extrémité terminale, l'ensemble des valeurs des délais est donc identique. On note  $N(i)$  le niveau de chaque nœud correspondant au niveau de nomenclature. On définit pour tout  $i$  extrémité initiale du graphe,  $N(i)=0$ .

On note  $SuccIm(i)$  l'ensemble des successeurs immédiats de  $i$  dans le graphe  $G$ , et  $Succ(i)$  l'ensemble des successeurs de  $i$  dans le graphe  $G$ .

On note  $PredIm(i)$  l'ensemble des prédécesseurs immédiats de  $i$  dans le graphe  $G$ , et  $Pred(i)$  l'ensemble des prédécesseurs de  $i$  dans le graphe  $G$ .

### 2.5.2. ILLUSTRATION

Nous considérons 6 produits A, B, C, D, E et F reliés par la matrice gozinto BOM suivante (figure 3-10) :

$$BOM = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

**Figure 3-10. Matrice gozinto**

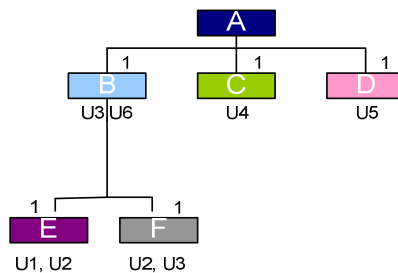
Nous considérons 6 usines de production, U1, U2, U3, U4, U5 et U6.

Nous considérons la matrice  $M$ , matrice d'affectation des produits aux usines (figure 3-11).

$$M = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

**Figure 3-11. Matrice d'affectation des produits**

La nomenclature suivante représente les données précédentes (figure 3-12).



**Figure 3-12. Illustration (1)**

Nous présentons ensuite le graphe G correspondant à cet exemple (figure 3-13).

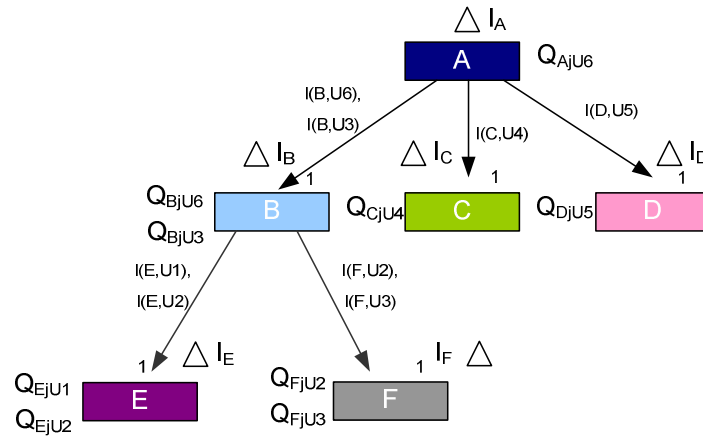


Figure 3-13. Illustration (2)

## 2.6. ARCHITECTURE DE LA METHODE ET VOISINAGES

### 2.6.1. CONCEPTS

Comme mentionné précédemment, nous avons décidé de développer des méthodes de résolution à base de recuit simulé. Ces méthodes sont basées sur la génération de voisins. Etant donné la complexité du modèle, il nous semble pertinent d'utiliser plusieurs types de voisinage pour modifier la solution de manière efficace. Nous proposons donc l'architecture suivante décrivant le fonctionnement des métaheuristiques proposées.

Une heuristique de lissage permet de générer une solution initiale admissible. Par la suite, la solution admissible est modifiée par un voisinage choisi aléatoirement. Nous verrons par la suite que compte tenu des liens de synchronisation entre les plans de production, la majorité des voisinages proposés rend infaissable les solutions générées et nécessite donc que chaque voisinage soit chaîné à une procédure de réparation dédiée (figure 3-14).

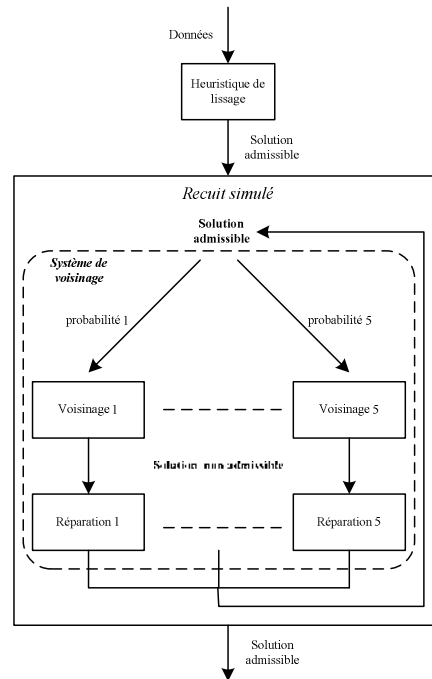


Figure 3-14. Architecture de fonctionnement de la méthode de résolution proposée

Concernant la détermination des voisinages, deux stratégies de voisinages peuvent être envisagées, la première consiste à modifier seulement la demande client satisfaite ( $DS_{it}$ ) puis à appliquer une heuristique de lissage pour déterminer les plans de production des autres usines, le second consiste à modifier aléatoirement n'importe quel plan de production ( $Q_{ijk}$ ) puis de propager ou non la modification aux autres plans de production. Afin de modifier localement chaque plan de production dans le but d'améliorer globalement la solution, la dernière stratégie de voisinage a donc été préférée. Nous proposons ainsi cinq voisinages.

### 2.6.2. VOISINAGES

Notation : Dans le modèle générique proposé, nous considérons pour chaque composant un stock et l'ensemble des usines qui le fabriquent. Ainsi par abus de langage, nous parlons de production en amont et en aval du stock pour référer la production des usines produisant le produit considéré (production amont) et les usines utilisant le produit considéré (production aval). De même pour la planification d'un produit sur une usine, nous définirons comme stock amont les stocks des produits utilisés pour fabriquer ce produit et de stock aval le stock de ce produit.

Nous proposons dans cette section d'explicitier chaque voisinage. Pour chacun d'entre eux, nous mentionnons l'objectif de ce dernier et illustrons la conséquence sur les autres plans de production.

De manière à faciliter la compréhension globale des voisinages, nous illustrons chacun d'entre eux sur un exemple simple. L'exemple considéré est le suivant : nous considérons une chaîne logistique composée de trois usines en série, et considérons deux produits finis dont la nomenclature est linéaire et composée chacune de deux autres produits. Les coefficients de la matrice gozinto valent 0 ou 1. Nous considérons les trois matrices  $Q_{ij1}$ ,  $Q_{ij2}$ ,  $Q_{ij3}$  ainsi que les matrices des stocks  $IA'$  et  $IA$ ,  $IB$  et  $IB'$ , regroupées en deux matrices  $S1$  et  $S2$ . Pour chaque usine nous considérons une capacité de production limitée et constante, nommée  $C_{jk}$  pour la période  $j$  de l'usine  $k$ . (figure 3-15 et figure 3-16)

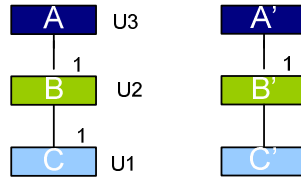


Figure 3-15. Exemple de nomenclature considérée

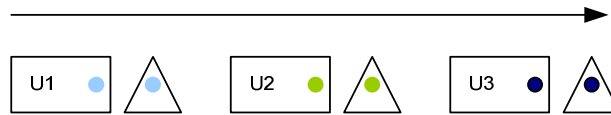


Figure 3-16. Exemple de chaîne logistique considérée

Pour illustrer le fonctionnement des systèmes de voisinages, nous considérons la solution initiale suivante modélisée par les matrices suivantes. (figure 3-17)

$Q_{ij1}$					$Q_{ij2}$					$Q_{ij3}$				
10	0	20	0	12	0	10	25	20	0	18	0	10	0	20
0	30	10	5	18	15	0	30	10	5	12	15	0	30	10
$C1$					$C2$					$C3$				
30	30	30	30	30	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
$S1$					$S2$									
$IA$					$IB$									
$IA'$					$IB'$									
	0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0
	0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0

Figure 3-1711. Exemple de plans initiaux de production et stocks associés

## 2.6.2.1. Voisinage augmentation

Ce voisinage consiste à augmenter la production d'un produit donné sur une usine donnée à une période donnée. Le but de ce voisinage est de modifier globalement la demande satisfaite et de modifier le stock de ce produit et de ses prédécesseurs immédiats dans la nomenclature. (figure 3-18)

**Algorithme 1 Augmentation voisinage**Début

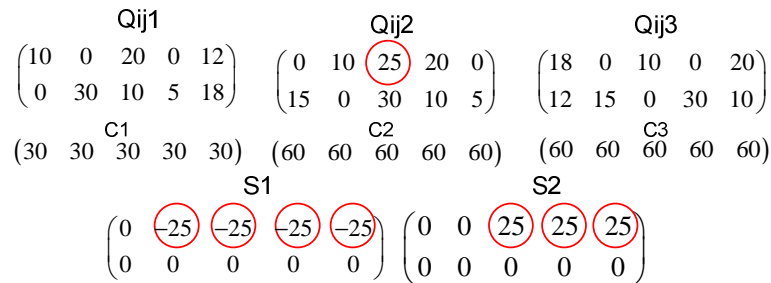
Choisir au hasard i, j et k.

Si  $m_{ik}=1$  Alors $X = \text{alea}(C_{jk} - Q_{ijk})$  $Q_{ijk} = Q_{ijk} + X$ 

Fin si

Fin

Illustration

Dans l'exemple initialement considéré, nous choisissons  $Q_{132}$  et  $X=25$ . $Q_{132} = Q_{132} + 25$ 

**Figure 3-18. Exemple de plans de production et stocks associés après voisinage augmentation**

Remarque :

Le fait d'augmenter la production d'un produit sur une usine donnée en sachant que les stocks étaient nuls précédemment provoque pour le stock aval une rupture (stock négatif) et pour le stock amont une augmentation.

## 2.6.2.2. Voisinage Diminution

Ce voisinage consiste à diminuer la production d'un produit donné à une période sur une usine donnée. Le but de ce voisinage est de modifier globalement la demande satisfaite et de modifier le stock de ce produit et de ses prédécesseurs immédiats dans la nomenclature. (figure 3-19)

**Algorithme 2 Diminution voisinage**Début

Choisir au hasard i, j et k.

Si  $m_{ik}=1$  Alors $X = \text{alea}(Q_{ijk})$  $Q_{ijk} = Q_{ijk} - X$ 

Fin si

Fin

Illustration

Dans l'exemple initialement considéré, nous choisissons  $Q_{142}$  et  $X=20$ . $Q_{142} = Q_{142} - 20$



Qij1	Qij2	Qij3
$\begin{pmatrix} 10 & 0 & 20 & 0 & 12 \\ 0 & 30 & 10 & 5 & 18 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 10 & 0 & 25 & 0 \\ 15 & 0 & 30 & 10 & 5 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 18 & 0 & 10 & 0 & 20 \\ 12 & 15 & 0 & 30 & 10 \end{pmatrix}$
C1	C2	C3
$(30 \ 30 \ 30 \ 30 \ 30)$	$(60 \ 60 \ 60 \ 60 \ 60)$	$(60 \ 60 \ 60 \ 60 \ 60)$
S1	S2	
$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 20 & 20 & 20 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & -20 & -20 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	

Figure 3-19. Exemple de plans de production et stocks associés après voisinage réduction

**Remarque :**

Le fait de diminuer la production d'un produit sur une usine donnée en sachant que les stocks étaient nuls précédemment provoque pour le stock amont un stock positif et pour le stock aval un stock négatif.

## 2.6.2.3. Voisinage Regroupement à gauche

Ce voisinage consiste à regrouper la production de deux périodes d'un même produit sur la première période. Le but de ce voisinage est de créer des périodes sans production et donc de diminuer les coûts de set up. (figure 3-20)

**Algorithme 3 Regroupement à gauche**Début

Choisir aléatoirement  $i, j, j'$  et  $k$ .

'La quantité  $X$  déplacée est estimée grâce à une fonction qui sera explicitée par la suite.

Si  $m_{ik}=1$  Alors

$$Q_{ijk}=Q_{ijk}+X$$

$$Q_{ij'k}=Q_{ij'k}-X$$

Fin si

FinIllustration

Dans l'exemple initialement considéré, nous choisissons  $Q_{142}$  et  $Q_{132}$  et  $X=10$ .

$$Q_{242}= Q_{242}-10$$

$$Q_{232}= Q_{232}+10$$

Qij1	Qij2	Qij3
$\begin{pmatrix} 10 & 0 & 20 & 0 & 12 \\ 0 & 30 & 10 & 5 & 18 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 10 & 0 & 20 & 0 \\ 15 & 0 & 40 & 0 & 5 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 18 & 0 & 10 & 0 & 20 \\ 12 & 15 & 0 & 30 & 10 \end{pmatrix}$
C1	C2	C3
$(30 \ 30 \ 30 \ 30 \ 30)$	$(60 \ 60 \ 60 \ 60 \ 60)$	$(60 \ 60 \ 60 \ 60 \ 60)$
S1	S2	
$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -10 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \end{pmatrix}$	

Figure 3-20. Exemple de plans de production et stocks associés après voisinage à gauche

**Remarque :**

Le fait de regrouper la production de deux périodes d'un même produit sur la période « de gauche » pour une usine donnée en sachant que les stocks étaient nuls précédemment provoque pour le stock amont un stock négatif sur une période et pour le stock aval un stock positif sur une seule période.

#### 2.6.2.4. Voisinage Regroupement à droite

Ce voisinage consiste à regrouper la production de deux périodes d'un même produit sur la dernière période. Le but de ce voisinage est de créer des périodes sans production et donc de diminuer les coûts de set up. (figure 3-21)

##### Algorithme4 Regroupement à droite

###### Début

Choisir aléatoirement  $i, j, j'$  et  $k$ .

'La quantité  $X$  déplacée est estimée grâce à une fonction qui sera explicitée par la suite.

**Si**  $m_{ik}=1$  **Alors**

$$Q_{ijk}=Q_{ijk}+X$$

$$Q_{ij'k}=Q_{ij'k}-X$$

**Fin si**

###### Fin

###### Illustration

Dans l'exemple initialement considéré, nous choisissons  $Q_{142}$  et  $Q_{132}$  et  $X=10$ .

$$Q_{242}=Q_{242}-10$$

$$Q_{232}=Q_{232}+10$$

Qij1	Qij2	Qij3
$\begin{pmatrix} 10 & 0 & 20 & 0 & 12 \\ 0 & 30 & 10 & 5 & 18 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 10 & 0 & 20 & 0 \\ 15 & 0 & 0 & 40 & 5 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 18 & 0 & 10 & 0 & 20 \\ 12 & 15 & 0 & 30 & 10 \end{pmatrix}$
C1	C2	C3
$(30 \quad 30 \quad 30 \quad 30 \quad 30)$	$(60 \quad 60 \quad 60 \quad 60 \quad 60)$	$(60 \quad 60 \quad 60 \quad 60 \quad 60)$
S1	S2	
$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 30 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \end{pmatrix}$	

**Figure 3-21. Exemple de plans de production et stocks associés après voisinage à gauche**

###### Remarque :

Le fait de regrouper la production de deux périodes d'un même produit sur la période de production de « droite » pour une usine donnée en sachant que les stocks étaient nuls précédemment provoque pour le stock aval un stock négatif sur une période et pour le stock amont un faux surplus sur une seule période.

## 2.6.3. PROCEDURE DE REPARATION

## 2.6.3.1. Illustration

Ces voisinages, bien que tous différents, consistent finalement à augmenter ou à diminuer la production donnée d'un produit à une période donnée sur une usine donnée. Pour chaque exemple, leur conséquence sur les stocks amont et aval a été illustrée avec contraintes de périodicité. En effet, en supposant une synchronisation initiale (tous les stocks nuls), les voisinages précédents appliqués localement ont pour conséquence de rendre infaisable la solution soit en rendant certains stocks négatifs soit en dépassant la capacité de production. Si nous considérons la nomenclature suivante (figure 3-22), il est alors possible de généraliser les illustrations précédentes.

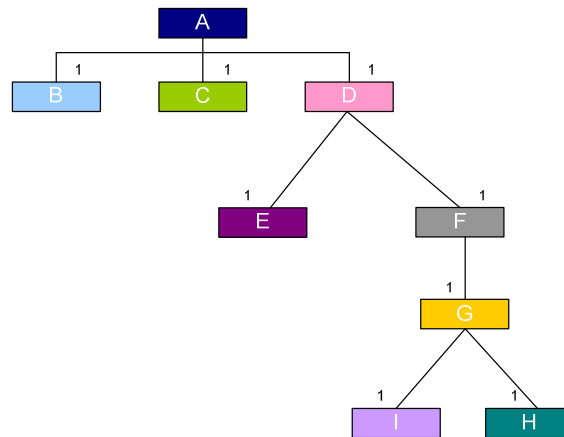


Figure 3-22. Nomenclature considérée

Nous considérons que chaque produit est fabriqué sur une usine unique et que les stocks initiaux sont nuls.

Ainsi, augmenter une production sur une usine a pour conséquence (figure 3-23) :

- de créer un stock négatif sur le(s) stock(s) amont,
- de créer un stock positif sur le(s) stock(s) aval.

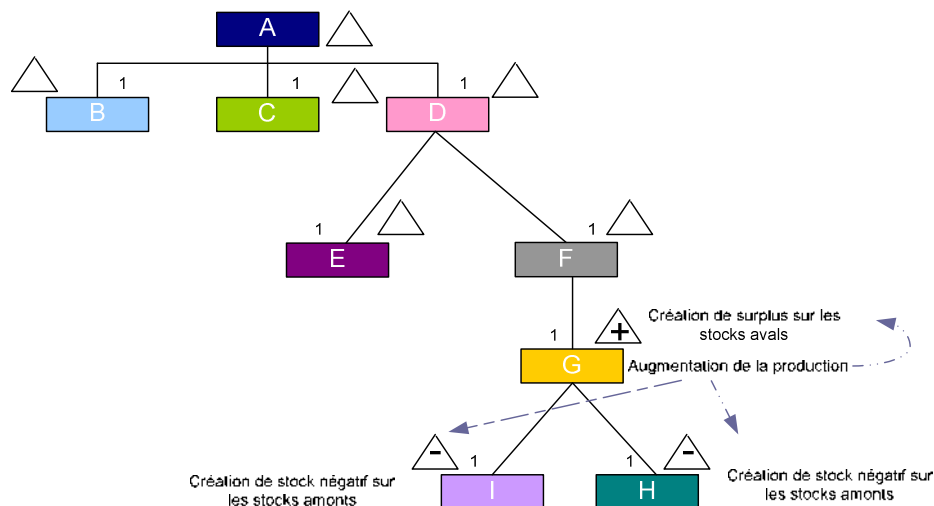
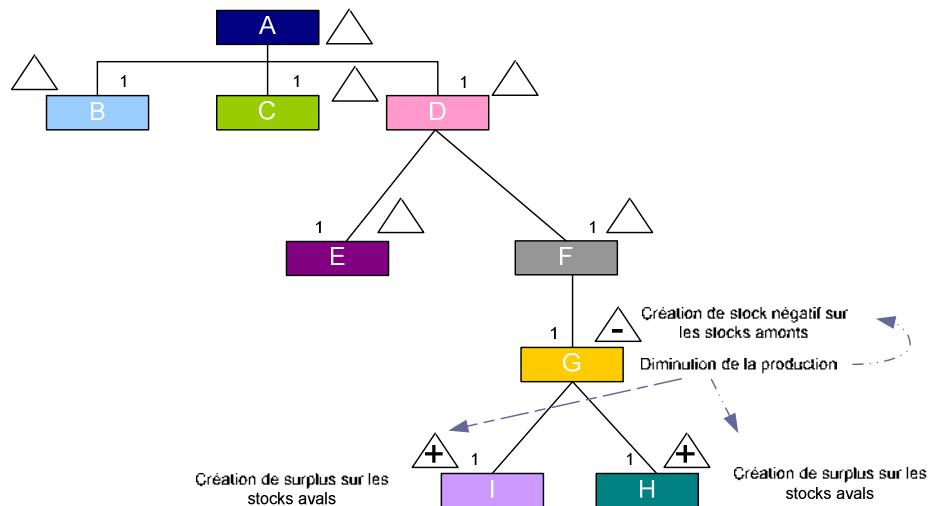


Figure 3-23. Impact de l'augmentation d'une production sur une usine

Diminuer une production sur une usine a pour conséquence (figure 3-24) :

- de créer un stock (surplus) positif sur le(s) stock(s) amont,
- de créer un stock (surplus) négatif sur le(s) stock(s) aval.



**Figure 3-24. Impact d'une diminution d'une production sur une usine**

**Remarque :** L'hypothèse « pour des stocks nuls » peut être généralisée si la diminution ou l'augmentation est supérieure à la quantité présente en stock, dans ce cas, du stock négatif est alors créé.

#### 2.6.3.2. Définition des stocks négatifs et surplus

Le paragraphe précédent a illustré la conséquence d'une augmentation et d'une diminution de la production sur les stocks amont et aval. Dans le but de générer une solution réalisable, les voisinages précédemment proposés doivent donc être suivis de procédure de réparation. Pour cela, il est nécessaire à la fois de rendre les stocks positifs mais également de les minimiser au maximum. Ainsi les procédures proposées ont pour objectif de rendre réalisable la solution proposée tout en l'optimisant.

La définition des procédures de réparation nous amène à distinguer plusieurs types de stocks négatifs ou de stocks positifs. En effet, les voisinages proposés diffèrent selon qu'ils modifient ou non la demande satisfaite dans sa totalité. Ainsi, les voisinages augmentation et diminution modifient la somme de la demande totale satisfaite sur toutes les périodes au contraire des autres voisinages qui modifient localement la demande satisfaite. Cela nous amène donc à distinguer deux types de stocks positifs et deux types de stocks négatifs.

Pour chaque stock,

- si la somme sur l'horizon des quantités sortantes du stock est supérieure à la somme sur l'horizon des quantités totales entrantes alors ce stock peut être qualifié de stock négatif. Dans ce cas, la valeur du stock à la dernière période est négative.
- si la somme sur l'horizon des quantités sortantes du stock est inférieure à la somme sur l'horizon des quantités totales entrantes alors ce stock peut être qualifié de surplus. Dans ce cas, la valeur du stock à la dernière période est positive.
- si la somme sur l'horizon des quantités sortantes du stock est égale à la somme sur l'horizon des quantités totales entrantes alors dans ce cas pour une ou plusieurs périodes de l'horizon, le stock peut être positif ou négatif. Suivant les cas, nous parlerons de stock positif ou négatif.

Pour chaque type de stock, nous définissons la manière de les rendre positifs et dans le cas échéant de les diminuer au maximum.

#### 2.6.3.3. Vrai stock négatif et vrai surplus

Lorsqu'il y a inégalité entre le total du flux entrant et le total du flux sortant, les procédures de réparation sont basées sur les concepts suivants.

Afin de rendre un stock positif ou nul, deux actions sont possibles :

- diminuer la production aval,
- augmenter la production amont.

Afin de réduire un stock, deux actions sont possibles :

- augmenter la production aval,
- diminuer la production amont.

Remarques :

- La diminution d'une production sur une usine est limitée par la quantité actuellement produite.
- L'augmentation de la production est limitée dans un premier temps par la capacité restante sur cette période de production.
- L'augmentation de la production est limitée dans l'absolu par la capacité de l'usine sur cette période de production.

## 2.6.3.4. Faux stock négatif et faux surplus

En présence de faux stock et de faux surplus, il est alors nécessaire d'utiliser des procédures de décalage de la production. En effet, diminuer ou augmenter la production amont ou aval ne permet pas de rétablir la contrainte des stocks. Chaque augmentation (diminution) doit être suivie d'une diminution (augmentation) ce qui consiste en réalité en un décalage de la production.

En présence d'un faux surplus ou d'un faux stock négatif, il est alors nécessaire de considérer les première et dernière périodes du faux surplus ou du stock négatif.

Pour un faux surplus, la première correspond à la période à laquelle la production amont a produit en avance, la seconde correspond à la période à laquelle la production aval a consommé ce surplus. Dans ce cas, deux procédures peuvent être utilisées :

- la première consiste à diminuer la production amont à la première période et à augmenter la production amont de la dernière période ;
- la seconde consiste à augmenter la production aval de la première période et à diminuer la production aval de la dernière de la valeur du surplus.

En présence d'un faux stock, la première période correspond à la période à laquelle la production amont a produit en retard, la seconde correspond à la période à laquelle la production amont a comblé le retard. Dans ce cas deux procédures peuvent être utilisées :

- la première consiste à augmenter la production amont à la première période et à diminuer la production amont de la dernière période ;
- la seconde consiste à diminuer la production aval de la première période et à augmenter la production aval de la dernière de la valeur du surplus.

## 2.6.3.5. Augmentation forcée ou non

Les réparations précédentes consistent pour certaines à augmenter la production d'un produit sur une usine à une période donnée. Nous savons que l'augmentation d'une quantité est dans l'absolu limitée à la capacité de production de l'usine à la période considérée. Par ailleurs, il est possible d'envisager deux procédures élémentaires pour augmenter la production d'un produit sur une usine.

- La procédure d'augmentation forcée :
  - on applique l'augmentation du produit considéré sur le plan de production de l'usine,
  - on diminue si nécessaire la production d'autres produits (soit aléatoirement soit équitablement) pour respecter la contrainte de capacité.
- La procédure d'augmentation non forcée :
  - on ne force pas l'augmentation quitte à ne pas augmenter la production du produit considéré,
  - on modifie l'augmentation du produit considéré et on l'applique sur le plan de production de l'usine considérée de telle manière à respecter la contrainte de capacité.

Ces deux procédures peuvent être appliquées soit en production amont soit en production aval. Le choix entre les deux modes dépend alors des procédures de réparation.

## 2.6.3.6. Propagation

La lecture des paragraphes précédents nous montre qu'il est possible de réparer une solution de nombreuses manières. Plusieurs choix sont possibles après avoir défini un stock négatif ou positif. Il est alors possible de :

- Travailler sur les usines amont ou aval aux stocks.
- Augmenter (en forçant ou non) ou diminuer la production.

Le but des procédures de réparation développées est donc d'utiliser ces réparations élémentaires de telle manière à définir des solutions différentes de la solution initialement perturbée.

Par exemple, considérons le voisinage augmentation de la production d'un produit  $i$  sur une usine  $k$ . La conséquence de ce voisinage en considérant précédemment les stocks nuls, est de créer une pénurie sur le(s)

stock(s) amont et un stock positif sur le stock aval. Pour corriger cette solution, il est possible soit de diminuer la production du produit  $i$  sur l'usine  $k$  soit d'augmenter la production des composants du produit  $i$  de telle manière à assurer la positivité des stocks des composants.

- Si on diminue la production du produit  $i$  sur l'usine  $k$ , la solution réparée sera identique à la solution initiale.
- Si on augmente la production des composants du produit  $i$ , des stocks négatifs vont être créés pour les composants de ces composants. Il est alors nécessaire de propager l'augmentation des productions jusqu'aux composants de plus haut niveau. De même pour diminuer le stock positif créé au niveau du produit  $i$ , il est nécessaire d'augmenter la production des produits se servant du produit et de continuer jusqu'à augmenter la demande satisfaite.

Bien entendu, chaque augmentation peut être forcée ou non, et peut être possible ou non. Une augmentation forcée suppose que la production d'un autre produit a été diminuée et donc qu'un stock négatif a été créé. Nous voyons sur une illustration simple que la propagation des voisinages locaux est très complexe. Les algorithmes de principe donnés dans le paragraphe suivant tente d'assurer une propagation la plus intelligente possible.

#### 2.6.4. ALGORITHME DE PRINCIPE DES VOISINAGES ET DES PROCEDURES DE REPARATION ASSOCIEES

Nous proposons dans cette section les algorithmes de principe des voisinages et des procédures de réparation qui leur est associée. Chaque procédure est explicité néanmoins, le détail de chaque fonction utilisée dans ces procédures est donnée en annexe.

##### **Algorithme du Voisinage 1 Augmentation d'une production d'un produit à une période donnée sur une usine donnée.**

###### **Début**

Choisir un produit  $i^*$ , une période  $j^*$  et une usine  $k^*$  au hasard.

**Exécuter** Fonction\_1\_Augmentationvoisinage ( $i^*$ ,  $j^*$ ,  $k^*$ )

'L'augmentation de la production crée des stocks aval négatifs et du surplus positifs sur les stocks amont

**Exécuter** Fonction\_2\_Diminution\_surplus\_par\_augmentation\_forcée\_production\_aval ( $i^*$ ,  $j^*$ )

'De manière à propager la modification, la production des usines aval est augmentée par l'heuristique «Augmentation forcée » Ceci est réalisé niveau par niveau jusqu'au niveau 0 (Produits finis).

**Exécuter** Fonction\_4\_Annulation\_stock\_négatif\_détecté\_par\_augmentation\_forcée\_production\_amont ( $i^*$ ,  $j^*$ )

'De manière à propager la modification, la production des usines amont est augmentée par l'heuristique « Augmentation forcée ». Ceci est réalisé niveau par niveau jusqu'au niveau 0 (Produits finis). L'augmentation de production de certaines usines est limitée à la capacité absolue des usines, il est donc parfois impossible de remettre les stocks à niveau (positif ou nul.) Dans ce cas, le stock est mis en mémoire

**Pour** tout  $i \in \text{stockmémoire}$

**Tant que** stock négatif détecté indicé ( $i, j$ )

**Exécuter** Fonction\_7\_Annulation\_stock\_négatif\_détecté\_par diminution\_production\_aval ( $i, j$ )

'Les stocks demeurant négatifs (mémoire) sont pris un par un et l'heuristique qui diminue la production des usines aval leur est alors appliquée

**Fin tant que**

**Fin pour**

**Tant que** surplus détecté indicé ( $i, j$ )

**Exécuter** Fonction9\_Diminution\_surplus\_par\_diminution\_production\_amont ()

'La procédure précédente a peut être créée du surplus (diminution de la production) dans ce cas l'heuristique de diminution de la production amont est de nouveau appliquée.

**Fin tant que**

###### **Fin**

---

**Algorithme du Voisinage 2 Diminution d'une production d'un produit  $i^*$  à une période donnée sur une usine donnée.**


---

Début

Choisir un produit  $i^*$ , une période  $j^*$  et une usine  $k^*$  au hasard.

**Exécuter** Fonction\_11\_Diminution\_voisinage ( $i^*$ ,  $j^*$ ,  $k^*$ )

'La diminution de la production crée des stocks amont négatifs et du surplus positifs sur les stocks aval

**Exécuter** Fonction\_7\_Annulation\_stock\_négatif\_par\_diminution\_production\_aval( $i^*$ ,  $j^*$ )

'De manière à propager la modification, l'heuristique de diminution de la production aval est appliquée. La diminution de la production est forcément réalisable, il n'y a donc pas besoin de mettre en mémoire les stocks encore négatif.

**Tant que** surplus détecté indicé ( $i, j$ )

**Exécuter** Fonction9\_Diminution\_surplus\_par\_diminution\_production\_amont ()

'La diminution des productions des usines aval génèrent forcément du surplus pour les usines amont. 'Ce dernier est éliminé au moyen de l'heuristique de diminution de la production amont.

**Fin tant que**

Fin


---

**Algorithme du Voisinage 3 Voisinage regroupement à gauche d'une production d'un produit  $i^*$  à une période donnée sur une usine donnée.**


---

Début

Choisir un produit  $i^*$ , une période  $j^*$  et une usine  $k^*$  au hasard.

**Exécuter** Fonction\_12\_Regroupementagauchevoisinage ( $i$ ,  $j1^*$ ,  $j2^*$ ,  $k^*$ )

'Le décalage à gauche production crée des faux stocks aval négatifs et du faux surplus positifs sur les stocks amont.

**Tant que** FStock\_négatif détecté indicé ( $i$ ,  $j1$ ,  $j2$ )

**Exécuter** Fonction\_16\_Annulation\_FStock\_négatif\_production\_amontG ( $i$ ,  $j1$ ,  $j2$ )

'De manière à propager la modification, l'heuristique Fonction\_16 est lancée. Le stock négatif est alors réduit au maximum. Pour des raisons de capacité, il peut rester négatif dans ce cas le stock est mis en mémoire

**Fin tant que**

**Tant que** FSurplus détecté indicé ( $i$ ,  $j1$ ,  $j2$ ) parmi I-SurplusP

**Exécuter** Fonction\_14\_Diminution\_Fsurplus\_production\_avalG ( $i$ ,  $j1$ ,  $j2$ , surplusP)

'De manière à propager la modification, l'heuristique Fonction\_14 est lancée sur les usines amont. Le surplus est alors réduit au maximum. Pour des raisons de capa, tous le surplus peut ne pas être éliminé.

**Fin tant que**

**Pour tout**  $i \in$  stockmémoire

**Tant que** stock négatif détecté indicé ( $i, j$ )

**Exécuter** Fonction\_7\_Annulation\_stock\_négatif\_détecté\_par diminution\_production\_aval( $i, j$ )

'De la même façon, certains stocks n'ont pu être remis à niveau en augmentant la production des usines amont. Une heuristique diminuant la production aval est alors lancée.

**Fin tant que**

**Fin pour**

**Tant que** surplus détecté indicé ( $i, j$ )

**Exécuter** Fonction9\_Diminution\_surplus\_par\_diminution\_production\_amont ()

'La procédure précédente a peut être créée du surplus (diminution de la production) dans ce cas l'heuristique de diminution de la production amont est de nouveau appliquée.

**Fin tant que**

Fin

---

**Algorithme du Voisinage 4 Voisinage regroupement à droite d'une production d'un produit  $i^*$  à une période donnée sur une usine donnée.**

**Début**

Choisir un produit  $i^*$ , une période  $j^*$  et une usine  $k^*$  au hasard.

**Exécuter** Fonction\_18\_Regroupementadroitevoisinage ( $i, j1^*, j2^*, k^*$ )

‘ Le décalage à gauche production créée des faux stocks aval négatifs et du faux surplus positifs sur les stocks amont

**Tant que** FStock\_négatif détecté indicé ( $i, j1, j2$ )

**Exécuter** Fonction\_17\_Annulation\_Stock\_négatif\_production\_avalD( $i, j1, j2$ )

‘ De manière à propager la modification, l'heuristique Fonction\_17\_Annulation\_Stock\_négatif\_production\_avalD est lancée. Le stock négatif est alors réduit au maximum. Pour des raisons de capacité, il peut rester négatif dans ce cas le stock est mis en mémoire

**Fin tant que**

**Tant que** FSurplus détecté indicé ( $i, j1, j2$ ) parmi I-SurplusP

**Exécuter** Fonction\_15\_Diminution\_Fsurplus\_production\_amontD( $i, j1, j2$ )

‘De manière à propager la modification, l'heuristique Fonction\_15\_Diminution\_Fsurplus\_production\_amontD est lancée sur les usines amont. Le surplus est alors réduit au maximum. Pour des raisons de capacité, tous le surplus peut ne pas être éliminé.

**Fin tant que**

**Pour tout**  $i \in$  stockmémoire

**Tant que** stock négatif détecté indicé ( $i, j$ )

**Exécuter** Fonction\_7\_Annulation\_stock\_négatif\_détecté\_par diminution\_production\_aval( $i, j$ )

‘De la même façon, certains stocks n'ont pu être remis à niveau en augmentant la production des usines amont. Une heuristique diminuant la production aval est alors lancée.

**Fin tant que**

**Fin pour**

**Tant que** surplus détecté indicé ( $i, j$ )

**Exécuter** Fonction9\_Diminution\_surplus\_par diminution\_production\_amont ()

‘La procédure précédente a peut être créée du surplus (diminution de la production) dans ce cas l'heuristique de diminution de la production amont est de nouveau appliquée.

**Fin tant que**

**Fin**

---



### 3. APPLICATION DES METHODES APPROCHEES SUR UN CAS D'ETUDE

Cette section concerne l'application du modèle et des méthodes d'optimisation présentées précédemment sur un cas d'étude industriel. Comme mentionné précédemment, notre étude émane d'une problématique industrielle étudiée au sein du LIMOS en collaboration avec plusieurs doctorants (Cossard, Fénies, Lemoine). Cette étude est basée sur la planification tactique de produits à nomenclature linéaire au sein d'une chaîne logistique constituée de plusieurs sites de production. La particularité de cette étude réside dans le fait que plusieurs usines produisent un même produit ajoutant aux problèmes de planification classique un problème d'allocation de charges. Néanmoins, en ne considérant pas ce problème d'allocation, notre cas d'étude est alors très voisin du modèle de planification multi niveau à nomenclature linéaire proposé par (Vöros, 2002). Désirant tester nos métaheuristiques, nous proposons de les appliquer sur un cas d'étude ainsi que sur un modèle référencé dans la littérature. Ainsi dans un premier temps, nous présentons le cas d'étude industriel ainsi que le modèle mathématique de planification associé puis le modèle de Vöros. Nous appliquons ensuite les méthodes d'optimisation développées au modèle de Vöros puis au cas d'étude industriel.

#### 3.1.DESCRPTION DU CAS D'ETUDE

L'objectif du cas d'étude est de planifier l'ensemble d'une chaîne logistique constituée de six usines : U1, U2, U3, U4, U5 et U6 à un niveau tactique. La chaîne logistique étudiée est considérée comme interne. Nous considérons donc une approche de planification centralisée qui assure une planification optimisée de l'ensemble de la chaîne logistique. Nous considérons Nf produits finis ayant tous la même nomenclature. Leur nomenclature est considérée comme linéaire, bien que des composants soient adjoints à ceux-ci au fur et à mesure de leurs transformations : la problématique de planification se limite au produit principal. Concrètement, le même produit est fabriqué puis transformé au travers de la chaîne logistique. Nous considérons 4 niveaux de nomenclature. Ainsi si N définit l'ensemble des produits considérés,  $N = 4 \text{ Nf}$ .

Concernant l'objectif de planification, les industriels désirent générer une planification tactique à la maille jour en considérant des prévisions sur une année. Pour chaque usine, une capacité fixe sur l'horizon est considérée. Dans un premier temps, les industriels sont désireux de planifier la production en supposant la capacité fixe sans à avoir recours à une capacité spécifique ou sous-traitance. Compte tenu de cela, ils désirent savoir quelle quantité de prévisions clients peut être assurée et de quelle manière.

Concernant le transport, celui-ci ne constitue pas sur un horizon moyen terme une contrainte majeure dans la problématique définie par les industriels. Opérationnellement, le transport des marchandises entre usines est effectué quotidiennement à chaque fin de journée.

Compte tenu des remarques précédentes, l'instanciation du modèle générique proposé à la section semble tout à fait pertinente au regard de la problématique émise par les industriels. Pour cela, nous spécifions les éléments suivants :

- Produits et affectations aux usines.

Comme mentionné précédemment, les nomenclatures des Nf produits finis sont identiques et linéaires. Un semi produit n'est utilisé que pour obtenir un et un seul produit fini. Pour  $P_i \in \text{Nf}$ , nous notons les demi produits  $P_{i0}$ ,  $P_{i1}$ ,  $P_{i2}$ ,  $P_{i3}$  avec  $P_{i0}=P_i$ . La matrice gozinto  $a_{ij}$  (déterminant le nombre de produit i nécessaire pour obtenir un produit j ; figure 3-25) est donc la suivante :

$$A = \begin{pmatrix} & P_{i0} & P_{i1} & P_{i2} & P_{i3} & \dots & P_{i0} & P_{i1} & P_{i2} & P_{i3} & \dots & P_{60} & P_{61} & P_{62} & P_{63} \\ P_{i0} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{i1} & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{i2} & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{i3} & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{i0} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{i1} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{i2} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{i3} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{60} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{61} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 & 0 \\ P_{62} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 & 0 \\ P_{63} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Figure 3-25. Matrice gozinto

L'affectation des produits aux usines est déterminée par l'ensemble  $N(i)$  qui définit les usines fabriquant le produit  $i$ .

$$\forall i \in Nf, N(i_0) = \{U6\}$$

$$N(i_1) = \{U5\}$$

$$N(i_2) = \{U2, U3, U4\}$$

$$N(i_3) = \{U1\}$$

- Transport

Pour chaque usine, nous considérerons donc un lead time d'une période.

- Demande

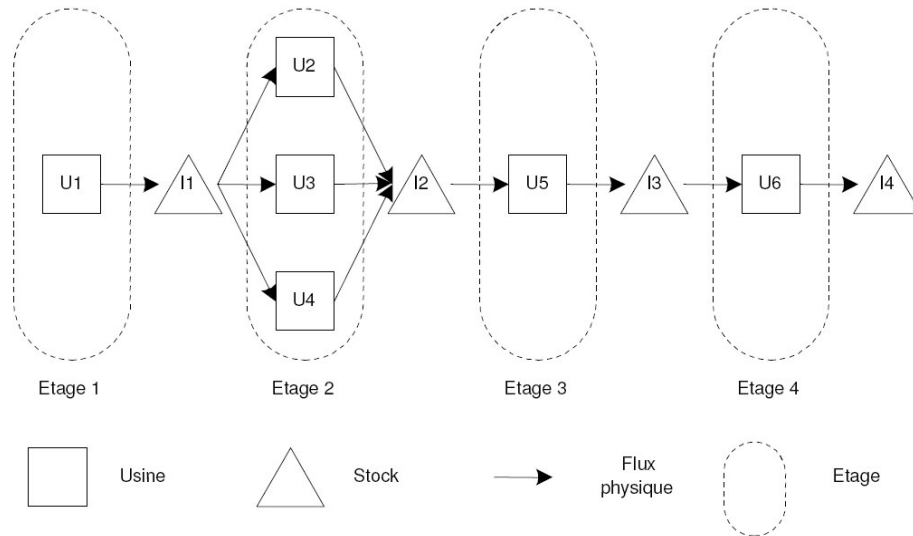
Les prévisions de demande sont exprimées par jour et par produit. Par hypothèse, la demande peut être totalement ou partiellement satisfaite.

- Stock

Nous considérons par ailleurs une contrainte de périodicité au niveau des stocks.

### 3.2. MODELE DE PLANIFICATION TACTIQUE

La figure 3-26 présente le synoptique du modèle de planification considéré pour notre cas d'étude. Ainsi pour synthétiser le cas d'étude, la chaîne logistique est constituée de quatre étages. A chaque étage est produit ou transformé un demi-produit. Au second étage, chaque demi-produit peut être transformé indépendamment par trois usines. Concernant les stocks, considérer un seul stock par produit consiste à assigner un stock à chaque étage de la chaîne où les produits transformés à l'étage amont seront entreposés.



L'objectif de l'étude est de générer pour chaque usine un plan de production à la maille jour sur un horizon  $T$  qui minimise l'ensemble des coûts générés par

- le coût de stockage,
- le coût de lancement,
- le coût de demande non satisfaite.

En reprenant le modèle précédemment présenté, et en explicitant les équations principales nous obtenons le modèle mathématique suivant :

$$\text{Min} \sum_{i=1}^{Nf} \sum_{t=1}^T (s_{i0t} X_{i0U6t} + s_{i1t} X_{i0U5t} + s_{i2t} X_{i0U4t} + s_{i2t} X_{i0U3t} + s_{i2t} X_{i0U2t} + s_{i0t} X_{i0U1t} s_{i0t} X_{i0U6t} + h_{i0t} Y_{i0t} + h_{i1t} Y_{i1t} + h_{i2t} Y_{i2t} + h_{i3t} Y_{i3t} + r_{i0t} DP_{i0t})$$

$$D_{Pi0,t} = DS_{Pi0,t} + DP_{Pi0,t} \quad \forall i, t \in [1, Nf] \times [1, T] \quad (13)$$

$$\begin{cases} I_{Pi3,t+1} = I_{Pi3,t} + Q_{Pi3,U1,t+1} - I_{Pi3,U1} - (Q_{Pi2,U2,t+1} + Q_{Pi2,U3,t+1} + Q_{Pi2,U4,t+1}) \quad \forall (i, k, t) \in [1, Nf] \times [0, T-1] \\ I_{Pi2,t+1} = I_{Pi2,t} + Q_{Pi2,U2,t+1} + Q_{Pi2,U3,t+1} + Q_{Pi2,U4,t+1} - Q_{Pi1,U5,t+1} \quad \forall (i, t) \in [1, Nf] \times [0, T-1] \\ I_{Pi1,t+1} = I_{Pi1,t} + Q_{Pi1,U5,t+1} - Q_{Pi0,U6,t+1} \quad \forall (i, t) \in [1, Nf] \times [0, T-1] \\ I_{Pi0,t+1} = I_{Pi0,t} + Q_{Pi0,U6,t+1} - DS_{Pi0,t+1} \quad \forall (i, t) \in [1, Nf] \times [0, T-1] \end{cases} \quad (14)$$

$$\begin{cases} Q_{Pikt} \leq C_{kt} \times X_{Pikt} & \forall (i, t) \in [1, N] \times [1, T], \\ Q_{Pikt} \geq X_{Pikt} & \forall k \in N(i) \end{cases} \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^N Q_{Pikt} \leq C_{kt} \quad \forall t \in [1, T], \quad \forall k \in N(i) \quad (16)$$

$$\begin{cases} Q_{Pi2,U2,t+1} + Q_{Pi2,U3,t+1} + Q_{Pi2,U4,t+1} \leq I_{Pi3,t} \quad \forall (i, t) \in [1, Nf] \times [1, T] \\ Q_{Pi1,U5,t+1} \leq I_{Pi2,t} \quad \forall (i, t) \in [1, Nf] \times [1, T] \\ Q_{Pi0,U6,t+1} \leq I_{Pi1,t} \quad \forall (i, t) \in [1, Nf] \times [1, T] \\ DS_{Pi0,t+1} \leq I_{Pi0,t} \quad \forall (i, t) \in [1, Nf] \times [1, T] \end{cases} \quad (17)$$

$$\begin{cases} Y_{Pi3,t} = I_{Pi3,t} - (Q_{Pi2,U2,t+1} + Q_{Pi2,U3,t+1} + Q_{Pi2,U4,t+1}) \quad \forall (i, t) \in [1, Nf] \times [0, T-1] \\ Y_{Pi2,t} = I_{Pi2,t} - Q_{Pi1,U5,t+1} \quad \forall (i, t) \in [1, Nf] \times [0, T-1] \\ Y_{Pi1,t} = I_{Pi1,t} - Q_{Pi0,U6,t+1} \quad (14) \quad \forall (i, t) \in [1, Nf] \times [0, T-1] \\ Y_{Pi0,t} = I_{Pi0,t} - DS_{Pi0,t+1} \quad \forall (i, t) \in [1, Nf] \times [0, T-1] \end{cases} \quad (18)$$

$$X_{ijt} \in \{0, 1\} \quad \forall (i, t) \in [1, N] \times [1, T], \quad \forall j \in N(k), \quad \forall k \in [1, P] \quad (19)$$

$$Q_{Pikt} \geq 0 \quad \forall (i, t) \in [1, N] \times [1, T], \quad \forall k \in N(i)$$

$$Y_{Pit}, I_{Pit} \geq 0 \quad \forall (i, t) \in [1, N] \times [1, T] \quad (20)$$

$$DS_{Pit}, DP_{Pit} \geq 0 \quad \forall (i, t) \in [1, N] \times [1, T]$$

### 3.3. MODELE DE PLANIFICATION DE VÖROS

L'étude de la littérature montre que le modèle de planification présenté précédemment est très proche de celui de (Vörös, 2002). En négligeant les problèmes d'allocation d'usine, c'est-à-dire en supposant qu'un produit est fabriqué sur une seule usine et en ne considérant pas de lead time, les modèles sont alors identiques. Nous sommes désireux dans un premier temps de tester les métaheuristiques présentées précédemment sur ce modèle. Nous donnons l'instanciation du modèle de Vörös sur le cas d'étude.

$$\begin{cases} Q_{Pikt} \leq C_{kt} \times X_{Pikt} & \forall (i, t) \in [1, N] \times [1, T], \\ Q_{Pikt} \geq X_{Pikt} & \forall k \in N(i) \end{cases} \quad (24)$$

$$\sum_{i=1}^N Q_{Pikt} \leq C_{kt} \quad \forall t \in [1, T], \quad \forall k \in N(i) \quad (25)$$

$$\begin{cases} Q_{Pi2,U2,t+1} \leq I_{Pi3,t} & \forall (i, t) \in [1, Nf] \times [1, T] \\ Q_{Pi1,U5,t+1} \leq I_{Pi2,t} & \forall (i, t) \in [1, Nf] \times [1, T] \\ DS_{Pi0,t+1} \leq I_{Pi0,t} & \forall (i, t) \in [1, Nf] \times [1, T] \end{cases} \quad (26)$$

$$\begin{cases} Y_{Pi3,t} = I_{Pi3,t} - Q_{Pi2,U2,t+1} & \forall (i,t) \in [1,Nf] \times [0,T-1] \\ Y_{Pi2,t} = I_{Pi2,t} - Q_{Pi1,U5,t+1} & \forall (i,t) \in [1,Nf] \times [0,T-1] \\ Y_{Pi1,t} = I_{Pi1,t} - Q_{Pi0,U6,t+1} & \forall (i,t) \in [1,Nf] \times [0,T-1] \\ Y_{Pi0,t} = I_{Pi0,t} - DS_{Pi0,t+1} & \forall (i,t) \in [1,Nf] \times [0,T-1] \end{cases} \quad (27)$$

$$X_{ijt} \in \{0,1\} \quad \forall (i,t) \in [1,N] \times [1,T], \quad \forall j \in N(k), \quad \forall k \in [1,P] \quad (28)$$

$$Q_{Pikt} \geq 0 \quad \forall (i,t) \in [1,N] \times [1,T], \quad \forall k \in N(i)$$

$$Y_{Pit}, I_{Pit} \geq 0 \quad \forall (i,t) \in [1,N] \times [1,T] \quad (29)$$

$$DS_{Pit}, DP_{Pit} \geq 0 \quad \forall (i,t) \in [1,N] \times [1,T]$$

### 3.4. DEFINITION DES METAHEURISTIQUES EMPLOYEES ET DES INSTANCES TRAITEES

Nous définissons pour les deux études les métaheuristiques utilisées et les instances résolues. En effet, les instances du modèle de Vöros sont dérivées du modèle générique en supposant qu'un produit est fabriqué sur une seule usine. Nous agrégeons donc les capacités usines ainsi que les coûts pour obtenir les instances du modèle de Vöros.

#### 3.4.1. MISE EN ŒUVRE DES METAHEURISTIQUES

Pour résoudre le problème de Vöros, nous appliquons la méthode d'optimisation proposée précédemment. Les métaheuristiques utilisées au cœur de cette méthode sont les suivantes :

- Descente stochastique
- Kangourou
- I.S.K.A (Deroussi, 2002)
- Recuit simulé

#### 3.4.2. INSTANCES

Concernant les instances testées, nous testons deux types d'instances : des instances de faible taille dites académiques et des instances de taille industrielle générées à partir du cas d'étude. Compte tenu de la remarque effectuée au chapitre 2, nous spécifions nos instances de la manière suivante. Nous supposons donc :

- un équilibre sur l'horizon de planification entre la capacité usine et la demande (somme de la demande = somme des capacités usines),
- des coûts de lancement faible,
- soit un coût de demande perdue supérieur au coût de stockage, soit le cas inverse.

Nous nous plaçons donc dans un contexte où la capacité globale de la chaîne logistique permet de répondre globalement à la demande exprimée. Nous supposons par ailleurs que les coûts de stockage et les coûts de demande perdue sont très supérieurs aux coûts de lancement. Par suite, nous effectuons deux études, l'une supposant des coûts de stockage très important par rapport à la demande perdue, la seconde supposant l'inverse.

### 3.5. RESULTATS DU MODELE DE VÖROS

#### 3.5.1. RESULTATS

Les instances traitées ont comme taille 16 périodes et 6 produits. Nous présentons les résultats obtenus pour 4 instances de chaque type suivant la caractérisation des instances données précédemment. Nous comparons les résultats obtenus par les quatre métaheuristiques à ceux obtenus par le solveur Cplex 10.0. Aucune solution optimale n'est trouvée par le solveur ; nous donnons donc les meilleures solutions obtenues après 60 min de résolution. Les résultats marqués (\*) désignent la meilleure solution obtenue après un overflow du solveur. Les résultats des métaheuristiques sont ceux obtenus après 1 million d'itérations représentant approximativement 20 minutes de calcul. Le gap présenté est calculé de la manière suivante : (Métaheuristique – Score) / Score.

Nom instance	Solveur	Métaheuristiques			
	Score	Descente	Recuit	Kangourou	ISKA
		Gap	Gap	Gap	Gap
CDP >CS 1	2 169 390	- 5 .10 <sup>-5</sup>	- 6 .10 <sup>-5</sup>	- 6 .10 <sup>-5</sup>	- 6 .10 <sup>-5</sup>
CDP >CS 2	927 870	7.10 <sup>-4</sup>	4,4.10 <sup>-4</sup>	4,8.10 <sup>-4</sup>	4.10 <sup>-4</sup>
CDP >CS 3	60 800	1,5.10 <sup>-2</sup>	9.10 <sup>-3</sup>	1,8.10 <sup>-2</sup>	2.10 <sup>-2</sup>
CDP >CS 4	138 370	6,7.10 <sup>-3</sup>	2,8.10 <sup>-3</sup>	3,4.10 <sup>-3</sup>	2,8.10 <sup>-3</sup>
CS > CDP 1	1 739 230*	1,4.10 <sup>-4</sup>	5,7.10 <sup>-5</sup>	5,1.10 <sup>-5</sup>	5,7.10 <sup>-5</sup>
CS > CDP 2	1 365 780	6,1.10 <sup>-4</sup>	3,4.10 <sup>-4</sup>	3,1.10 <sup>-4</sup>	2,4.10 <sup>-4</sup>
CS > CDP 3	299 660	7.10 <sup>-3</sup>	1,9.10 <sup>-3</sup>	2,2.10 <sup>-3</sup>	2,3.10 <sup>-3</sup>
CS > CDP 4	1 686 460*	7,6.10 <sup>-4</sup>	2,6.10 <sup>-4</sup>	1,8.10 <sup>-4</sup>	1,6.10 <sup>-4</sup>

**Tableau 3-1. Résultats initiaux pour le modèle de Vöros adapté: Solveur vs Métaheuristiques**

L'analyse du tableau 3-1 nous permet de conclure que sur des petites instances les résultats obtenus par les métaheuristiques sont comparables en termes de qualité aux résultats obtenus par le solveur.

Nom instance	Solveur				Recuit			
	Coûts	D. perdue	Surplus	Lancement	Coûts	D. perdue	Surplus	Lancement
CDP >CS 1	2169390	2160	2340	47	2169260	2160	2810	43
CDP >CS 2	927870	900	1350	87	928280	900	1351	126
CDP >CS 3	60800	0	3000	80	61360	0	3000	136
CDP >CS 4	138370	90	2370	97	138760	90	2370	136
CS > CDP 1	1739230	1590	1350	73	1739330	1590	1350	83
CS > CDP 2	1365780	1200	1500	78	1366250	1200	1500	125
CS > CDP 3	299660	150	1350	116	300230	150	1350	173
CS > CDP 4	1686460	1560	1140	106	1686900	1560	1142	128

**Tableau 3-2. Résultats initiaux pour le modèle de Vöros adapté :  
Solveur vs Recuit simulé. Décomposition fonction objectif.**

Désireux de comprendre d'où proviennent les écarts entre les solutions générées, nous présentons pour chaque instance, les résultats générés en termes de demande perdue (DP), de stocks et de nombres de lancement. Nous comparons ceux donc obtenus pour le solveur et le recuit simulé dans le tableau 3-2. L'analyse de cette dernière montre que le recuit simulé donne des résultats très proches voire identiques à ceux du solveur concernant la demande perdue et le stock. Les différences émergent alors des coûts de lancement expliquant la faiblesse du gap. Ceci signifie que la métaheuristique est très performante et génère des plannings comparables par rapport en termes de demande satisfaite et des stocks générés. La différence s'effectuant au niveau des lancements.

### 3.6. RESOLUTION DU CAS D'ETUDE

Nous appliquons les métaheuristiques présentées précédemment au modèle de planification présenté à la section 3.2. Les instances résolues dans cette section sont de tailles industrielles. Le nombre de périodes varie de 30 à 100 tandis que le nombre de produits est égal à 10. De la même façon que pour le modèle de Vöros, nous présentons dans le tableau 3.3 les résultats obtenus grâce au solveur ainsi qu'aux métaheuristiques présentées précédemment. Les résultats du solveur présenté sont les meilleurs résultats au terme de 60 min de résolution avec le solveur Cplex. Les résultats des métaheuristiques sont ceux obtenus après 1 million d'itérations représentant approximativement 20 minutes de calcul. Le gap présenté est toujours calculé de la manière suivante : (Métaheuristique – Score)/ Score. Pour certaines instances, les solutions générées par les métaheuristiques sont meilleures que celles obtenues par le solveur. Il est à noter que la décomposition des coûts

donnés par le tableau 3-4 montre une forte disparité entre les résultats obtenus par le solveur et la meilleure métaheuristique. Contrairement aux résultats présentés sur le modèle proche de Vöros, les méthodes de résolution ne génèrent pas de solutions identiques concernant la demande perdue. La performance des métaheuristiques proposées est néanmoins démontrée et justifie l'intérêt de poursuivre le développement de métaheuristiques pour la résolution de ces problèmes.

#### 4. CONCLUSION

Ce chapitre se focalise sur la problématique de la planification tactique des chaînes logistiques. Son objectif est de répondre aux conclusions de l'état de l'art réalisé au chapitre 2 concernant la planification des chaînes logistiques. Ces dernières soulignent l'absence d'un modèle de planification de référence et générique à l'ensemble des problématiques de planification des chaînes logistiques ainsi que la faible utilisation des métaheuristiques pour la résolution de ces problèmes. Ce chapitre présente donc dans un premier temps un modèle UML de la problématique de planification des chaînes logistiques. Ce dernier correspond au modèle de connaissance généré à partir de la méthodologie ASCI. De ce modèle, un modèle mathématique et générique de planification tactique des chaînes logistiques est alors déduit. Ce dernier est basé sur une hypothèse d'unicité de stock restreignant son application aux problématiques de planification où les contraintes de transport sont secondaires. Dans un second temps, des systèmes de voisinages dédiés aux méthodes d'optimisation à base de recuit simulé sont proposées. Ces procédures ont pour particularité de prendre en compte les contraintes de synchronisation horizontale des plans de production par l'adjonction de procédures de réparation dédiées à chaque procédure. L'objectif de ces procédures est de rendre utilisable et performant les systèmes de voisinage classiquement utilisés pour des problèmes mono site. L'application de ces méthodes sur deux modèles et deux grands types d'instances nous permettent de conclure en l'efficacité des méthodes à base de recuit simulé pour la résolution de ces problématiques. Néanmoins, l'application de ces méthodes sur d'autres cas d'étude et sur d'autres instances demeure nécessaire pour conclure plus globalement sur leur réelle performance et sur leur caractère générique.



Nom instance	Nb produits	Nb périodes	Solveur				Métaheuristique			
			Coûts	D. perdue	Surplus	Lancement	Coûts	D. perdue	Surplus	Lancement
instance1_10prod_CDPSupCS	10	30	1917 025	1890	14900	2910	1916710	1890	8210	370
instance1_10prod_CSSupCDP	10	30	44175	1890	16230	2834	45943	1892	7673	387
instance2_10prod_CDPSupCS	10	30	1552852	1890	6120	406	1553915	1527	7865	381
instance2_10prod_CSSupCDP	10	30	41080	1894	6891	364	41998	1535	7848	376
instance3_10prod_CDPSupCS	10	30	2330303	1527	14095	2927	2331916	2305	10566	347
instance3_10prod_CSSupCDP	10	30	49264	1527	14268	2913	49498	2314	8758	356
instance4_10prod_CDPSupCS	10	30	3584830	1527	5784	399	3585778	3560	4328	429
instance4_10prod_CSSupCDP	10	30	60208	1545	6561	381	61842	3560	3642	452
instance5_10prod_CDPSupCS	10	30	4254382	2305	15052	2876	4255616	4230	3966	433
instance5_10prod_CSSupCDP	10	30	66016	2305	15282	2857	68105	4230	3455	447
instance1_10prod_100per_CDPSupCS	10	100	2049601	2305	6293	377	2039230	1890	38380	2217
instance1_10prod_100per_CSSupCDP	10	100	177499	2305	6807	368	167164	1890	38814	2189
instance2_10prod_100per_CDPSupCS	10	100	1686652	4279	66484	2344	1674310	1527	39210	2162
instance2_10prod_100per_CSSupCDP	10	100	175032	5168	44392	2536	161703	1534	43563	2056
instance3_10prod_100per_CDPSupCS	10	100	2463838	3560	4129	413	2451268	2305	40718	2111
instance3_10prod_100per_CSSupCDP	10	100	181329	3562	4539	401	167040	2307	41970	2040
instance4_10prod_100per_CDPSupCS	10	100	4462684	1927	15072	2884	4491005	4279	64205	2956
instance4_10prod_100per_CSSupCDP	10	100	177840	1927	15170	2868	233406	5490	50206	2566
instance5_10prod_100per_CDPSupCS	10	100	1917 025	4230	65989	386	2075708	1927	42408	2126
instance5_10prod_100per_CSSupCDP	10	100	44175	4230	5539	363	169743	1929	34403	2321

Tableau 3-4. Résultats pour le modèle de l'étude: Solveur vs Recuit simulé. Décomposition fonction objectif.



## **CHAPITRE 4 : EVALUATION DES FLUX FINANCIERS POUR LA PLANIFICATION TACTIQUE DES CHAINES LOGISTIQUES (Comelli et al. ; 2008) (a)**

<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>111</b>
<b>2. CONCEPTION ET IMPLANTATION DE MODELES GENERIQUES D’ACTION POUR L’EVALUATION DU PROCESSUS LOGISTIQUE : L’APPROCHE PREVA.....</b>	<b>111</b>
2.1. PRINCIPE FONCTIONNEL DE L’APPROCHE PREVA .....	111
2.2. PROPOSITION D’UN MODELE ANALYTIQUE GENERIQUE POUR L’EVALUATION DE LA CREATION DE VALEUR FINANCIERE DU PROCESSUS DE PLANIFICATION TACTIQUE D’UNE CHAINE LOGISTIQUE .....	113
2.3. EVALUATION DU CASH FLOW .....	117
2.4. ACTIVITES ET RESSOURCES PRISES EN COMPTE DANS L’ESTIMATION .....	119
2.5. EVALUATION DU CRITERE DE MARGE ABC.....	119
2.6. EVALUATION DU POTENTIEL DE MARGE.....	120
<b>3. SYNTHESE DE L’APPROCHE PREVA .....</b>	<b>120</b>
<b>4. APPLICATION DE L’OUTIL PREVA SUR UN CAS D’ETUDE .....</b>	<b>121</b>
4.1. DESCRIPTION DU CAS D’ETUDE .....	121
4.2. ACTIVITES ET RESSOURCES CONSOMMEES .....	122
4.3. MISE EN ŒUVRE DU MODELE D’ACTION .....	123
4.4. RESULTATS .....	127
<b>5. CONCLUSION.....</b>	<b>129</b>

## 1. INTRODUCTION

Les chapitres 1 et 2 ont présenté l'intérêt de lier le flux financier au flux physique dans le processus de planification tactique. De manière générale, le processus de budgétisation réside dans l'évaluation des futurs flux monétaires à partir des flux physiques et ceci pour chaque niveau de planification. Sur un horizon moyen terme, la budgétisation est constituée de trois budgets qui sont les budgets des ventes, de production et d'approvisionnement. Dans une approche classique, le processus de budgétisation est réalisé antérieurement à la planification tactique en se servant des données du flux physique que sont les prévisions de ventes, les quantités de production ou encore les quantités de produits stockées. Nous pensons qu'il serait pertinent non pas de chaîner les deux processus mais de les intégrer au sein d'un seul processus de telle manière à générer le flux physique non seulement sur des critères physiques mais également sur des critères financiers. En effet, le but de la chaîne logistique étant de satisfaire ses clients tout en dégageant le maximum de valeur (cash flow) pour ses acteurs, il est indéniable que les activités de planification et de budgétisation nécessitent d'être coordonnées. Intégrer les flux financiers à un modèle de planification tactique nécessite de pouvoir évaluer le plan tactique d'un point de vue financier. L'état de l'art présenté au chapitre 2 a montré qu'aucune contribution ne proposait d'évaluer la planification tactique par des critères financiers malgré un intérêt réel des managers. Si le modèle ABC est reconnu comme le modèle de coût le plus pertinent pour l'évaluation des coûts engendrés au sein d'une chaîne logistique, celui-ci n'a jamais été adapté au modèle de planification tactique et ne permet pas par ailleurs l'évaluation des flux financiers en tant que tel sans l'ajout des délais de décaissement et d'encaissement. Nous proposons dans cette partie de proposer une évaluation financière des plans tactiques basée sur un modèle ABC au travers de trois critères que sont la valeur du cash flow dégagé par une chaîne logistique, la marge sur coût ainsi que le potentiel de marge. Le but de ce chapitre est donc de proposer une formalisation mathématique des liens entre flux physique et flux financier au niveau tactique, afin d'obtenir un outil d'évaluation des flux financiers par les flux physiques. Nous proposons pour cela d'appliquer la méthodologie ASCI au domaine des chaînes logistiques étendues à la problématique des flux financiers. Dans une première section, nous appliquons la méthodologie ASCI au domaine des chaînes logistiques et expliquons à partir du modèle de connaissance généré le lien entre flux physique et flux financier. Dans une deuxième section, nous proposons d'appliquer l'outil d'évaluation sur une chaîne logistique pour juger de la pertinence de l'approche financière. Ce chapitre a fait l'objet d'une publication dans une revue internationale (Comelli *et al.*, 2006).

## 2. CONCEPTION ET IMPLANTATION DE MODELES GENERIQUES D'ACTION POUR L'EVALUATION DU PROCESSUS LOGISTIQUE: L'APPROCHE PREVA

C'est par l'intégration des activités planifier/budgéter que nous proposons de développer un outil permettant d'évaluer les flux financiers à partir des flux physiques. L'intégration des deux processus nécessite de formaliser mathématiquement les liens entre flux physique et flux financier afin de pouvoir évaluer les flux financiers générés par une planification tactique.

D'un point de vue budgétaire, la résultante de la planification tactique réside en la différence entre les produits et les charges générées. Les produits consistent sur cet horizon temporel aux prévisions de vente, et les charges consistent en l'estimation des achats mais aussi des consommations de ressources. D'un point de vue purement flux financier, la résultante de la planification tactique réside en la différence de flux entre les encaissements et les décaissements. Très schématiquement, le passage du budget au flux financier est réalisé par l'intégration de paramètres dynamiques tels que les délais de paiement et d'encaissement. Appliqués aux différents coûts et charges, ils permettent la génération des flux de trésorerie.

Le lien entre planification tactique et budget est trivial en ce qui concerne les ventes et les achats. Elle l'est moins en ce qui concerne la consommation des ressources. La consommation des ressources englobe en fait l'ensemble des dépenses liées à l'activité d'une entreprise. Sur un horizon tactique, certaines d'entre elles dépendent de la planification tactique. De plus, l'imputation des charges au flux physique peut être directe ou non. En effet, certaines consommations comme la consommation d'énergie dépendent directement des quantités produites, alors que certaines comme les salaires bien que dépendantes sont plus difficilement rattachables au flux physique.

Nous proposons donc de lier flux physique et flux financier au moyen d'une nouvelle approche nommée PREVA pour PROcess EVALuation. Cette approche réside dans une modélisation mathématique des liens entre flux physiques et financiers. Cette dernière sera dans un premier temps utilisée pour évaluer différents plannings proposés par des modèles d'actions mathématiques ou issus d'un couplage heuristique/simulation, et dans un second temps (chapitre 5) sera utilisée pour construire des modèles d'action de planification tactique intégrant des contraintes du flux financier. Cette approche a été développée en collaboration et étendue au problème



## 2.2. PROPOSITION D'UN MODELE ANALYTIQUE GENERIQUE POUR L'EVALUATION DE LA CREATION DE VALEUR FINANCIERE DU PROCESSUS DE PLANIFICATION TACTIQUE D'UNE CHAÎNE LOGISTIQUE

L'approche proposée consiste à lier flux physique et flux financier par l'intermédiaire du modèle de coût ABC. Comme présenté dans le chapitre 2, la méthode ABC permet de répartir les charges indirectes à travers un ensemble d'activités grâce à des inducteurs de coûts.

Nous déterminons la consommation de ressources par le flux physique. Les consommations directe et indirecte des ressources sont évaluées grâce au modèle ABC. Schématiquement, le modèle ABC présenté au chapitre 2 est basé sur la logique suivante :

- Le flux physique génère des activités évaluées par l'intermédiaire d'inducteurs de coût.
- Ces activités consomment par suite des ressources.

La logique du processus d'évaluation PREVA des flux financiers est donc basée sur l'identification des activités principales d'une entité de la chaîne logistique. Ces dernières, évaluées à partir d'inducteurs de coûts pertinents, permettent de lier le flux physique à la consommation de ressources.

Pour mettre en œuvre cette approche, nous proposons d'élargir le modèle de connaissance présenté à la section 3 pour permettre la prise en compte des flux financiers.

### 2.2.1. MISE A JOUR DU MODELE DE CONNAISSANCE DES CHAINES LOGISTIQUES POUR LA PRISE EN COMPTE DES FLUX FINANCIERS

Le modèle de connaissance des chaînes logistiques généré dans le chapitre 3 ayant été élaboré pour l'optimisation des flux physiques, il est nécessaire d'étendre ce dernier à la problématique des flux financiers. Pour cela, nous proposons une définition élargie des trois sous systèmes permettant l'emploi du modèle de coûts ABC. Le modèle de coût ABC est basé sur la détermination et l'emploi d'activité pour la répartition des coûts indirects. Ceci requiert que le modèle de connaissance soit capable de collecter la connaissance concernant l'ensemble des processus générés par les flux physiques.

#### 2.2.1.1. Le sous système Physique

La formalisation des flux financiers que nous proposons dans la figure 4-2 s'affranchit de la barrière « psychologique » que constituent les frontières des organisations de la chaîne logistique pour le flux financier en proposant une structuration de la chaîne logistique en Business Unit (BU). Nous entendons par BU un regroupement d'entités physiques (usines, entrepôts, etc.) gérées par une même cellule de budgétisation. Nous proposons donc un sous système physique basé sur l'entité BU composée d'entités de stockage et d'entités de fabrication dans lesquelles nous retrouvons des ressources au sens « contrôle de gestion ». Contrairement au modèle dédié à la planification des flux physiques, où les ressources désignaient les ressources physiques de production, dans ce modèle les ressources regroupent l'ensemble des ressources budgétaires, c'est-à-dire les salaires, les achats, ou les assurances.

#### 2.2.1.2. Le sous système Logique

Au niveau du sous système logique (figure 4-3), nous considérons au-delà du produit, les BU clientes et fournisseuses. En effet, pour prendre en compte les flux financiers, il est nécessaire de considérer les BU génératrices des ventes et génératrices des achats. Au niveau du modèle ABC, nous considérons les activités générées par le flux physique.

#### 2.2.1.3. Le sous système Décisionnel

Au niveau du sous système décisionnel (figure 4-4), nous considérons des nouvelles contraintes qui sont des contraintes financières exprimant, entre autres, un minimum de trésorerie pour chaque BU à respecter (niveau de cessation de paiement) ou encore un minimum de flux financier dégagé par chaque BU (partage de la valeur).

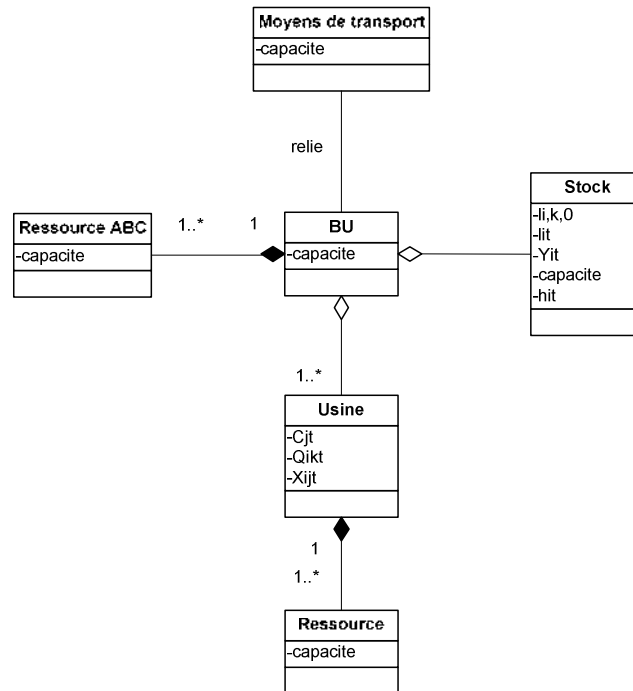


Figure 4-2. Sous système physique d'un problème de planification tactique des chaînes logistiques avec prise en compte des aspects financiers

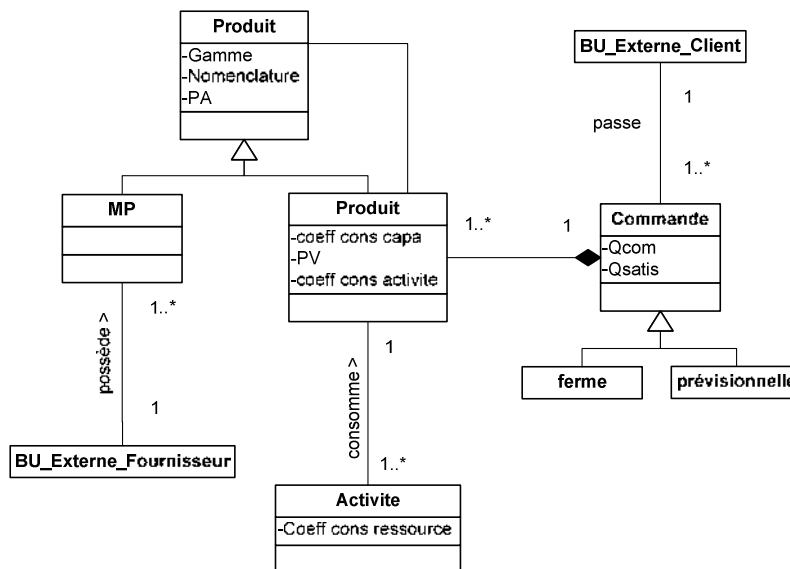
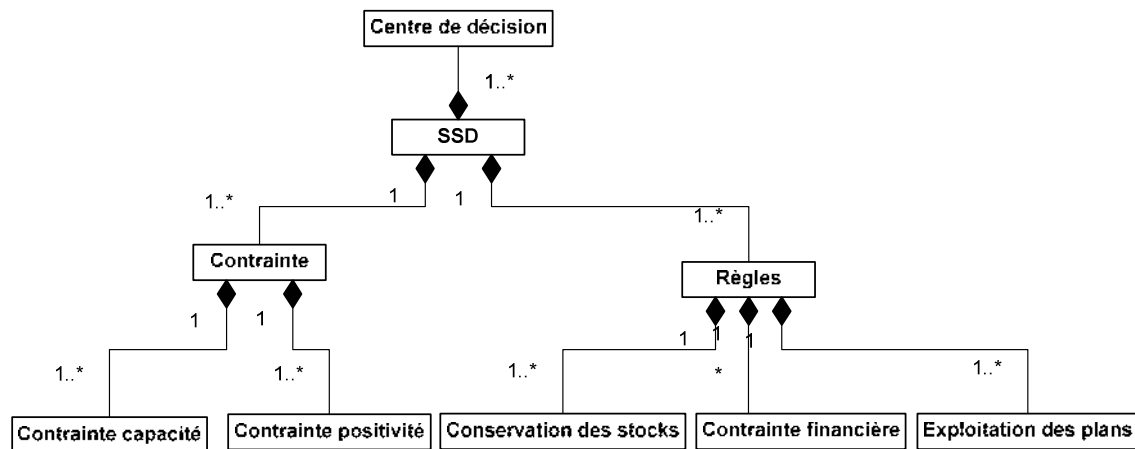


Figure 4-3. Sous système logique d'un problème de planification tactique des chaînes logistiques avec prises en compte des aspects financiers



**Figure 4-4. Sous système décisionnel d'un problème de planification tactique des chaînes logistiques avec prise en compte des aspects financiers**

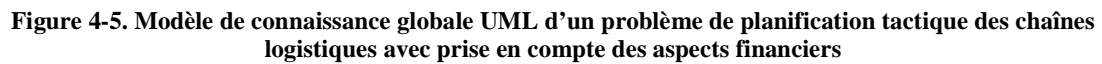
#### 2.2.1.4. Modèle de connaissance systémique des flux physiques et financiers d'une chaîne logistique

La modélisation des trois sous systèmes permet de générer le modèle de connaissance global d'une chaîne logistique à un niveau de planification tactique permettant de prendre en compte les flux financiers. Ce modèle de connaissance (figure 4-5) permet ainsi d'appréhender les entités, les flux et les contraintes composant la problématique de planification tactique des chaînes logistiques.

Nous avons mentionné au sein des objets les attributs financiers de base permettant la modélisation des flux financiers. Ainsi, nous mentionnons les quantités vendues (QV) et les quantités achetées (QA) par chaque BU. Nous mentionnons pour chaque produit son prix de vente (PV) et son prix d'achat (PA) et son délai d'encaissement (de) et de paiement (dp). Nous mentionnons pour chaque ressource ABC, le coût unitaire (c) de cette dernière, la quantité (a) de ressources consommées indirectement, la quantité de ressources consommées (r) directement et le délai de paiement de cette ressource.

De la même façon qu'ont été déduites précédemment les contraintes mathématiques des flux physiques, il est possible de déduire mathématiquement les contraintes du modèle financier.

Ainsi la lecture des liens entre les trois sous systèmes permettent d'appréhender qu'une BU achète et vend une certaine quantité (QV et QA) de produits aux prix (PV et PA) en tenant compte de délais de paiement et d'encaissement (dp) et (de). Cette même BU consomme directement et indirectement une quantité de ressources ABC (a et r) qu'elle devra payer à un certain coût (ci) en tenant compte d'un délai de paiement (dp). La quantité de consommation directe de ressources (r) est déterminée à partir des quantités produites (Q) et un coefficient de consommation de ressource par le flux physique (Cr). La quantité de consommation de ressource indirecte (a) est déterminée à partir des quantités d'inducteurs de coûts (IC) déduites par le système décisionnel (exploitation des plans) ainsi qu'un coefficient de consommation indirecte de ressource (Cr).



### 2.3. EVALUATION DU CASH FLOW

Le modèle de connaissance présenté précédemment nous permet de formaliser mathématiquement la génération des flux financiers au sein d'une chaîne logistique.

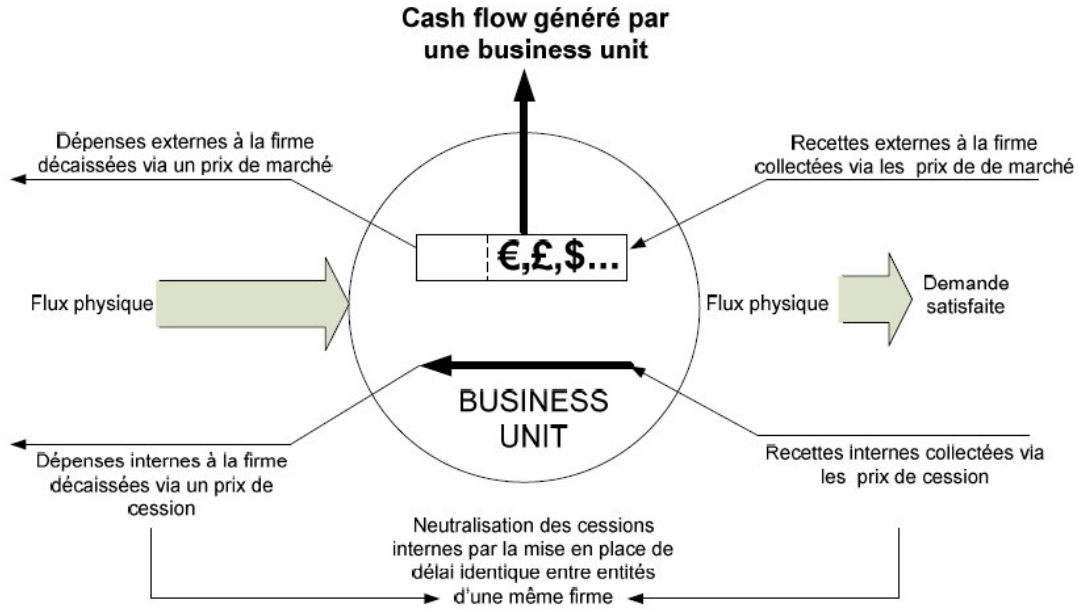


Figure 4-6. Création des cash flow

Dans un premier temps, nous proposons de formaliser le flux financier généré au niveau d'une seule BU (figure 4-6). Nous supposons dans un premier temps que les achats sont considérés comme une ressource. Compte tenu du modèle de connaissance généré précédemment, nous considérons les éléments suivants :

Soit  $N$  l'ensemble des produits pris en compte par la chaîne logistique.

Soit  $K$  l'ensemble des usines notées  $U_i$  appartenant à la chaîne logistique étudiée.

Soit  $B$  l'ensemble des Business Unit  $BU_j$  appartenant à la chaîne logistique étudiée.

Soit  $Z$  l'ensemble des ressources prises en compte dans chaque usine  $U_i$  de la chaîne logistique étudiée.

Soit  $A$  l'ensemble des activités prises en compte dans chaque usine  $U_i$  de la chaîne logistique étudiée.

Soit  $T$  l'ensemble des périodes de l'horizon.

Par définition,

$BU_j \subset K$  // Une  $BU_j$  est composée d'un ensemble d'usines  $U_i$ .

$\bigcap_{j=1}^l BU_j = \emptyset$  // Les  $BU$  n'ont pas d'usines en commun.

$\bigcup_{j=1}^l BU_j = K$  // Chaque usine appartient à une  $BU$ .

Nous définissons:

$CF_{BU_j,t}$  le cash flow généré par une  $BU_j$  à la période  $t$ .

$CP_{BU_j,t}$  le niveau de trésorerie de  $BU_j$  à la période  $t$ .

$PP_{BU_j,t}$  la quantité de ventes collectées par une  $BU_j$  à la période  $t$ .

$E_{BU_j,t}$  la quantité totale de ressources payées par une  $BU_j$  à la période  $t$ .

$Rp_{BU_j,t,z}$  la quantité de ressources  $z$  payées par la  $BU_j$  à la période  $t$ .

$Pp_{i,BU_j,t}$  le produit des ventes encaissées pour le produit  $i$  par la  $BU_j$  à la période  $t$ .



$R_{BU_j,t,z}$  la quantité de ressource  $z$  consommée à la période  $t$  par la  $BU_j$ .

$de_{BU_j,t,z}$  le délai de paiement de la ressource  $z$  à la période  $t$  pour la  $BU_j$ .

$dp_{i,BU_j,t}$  le délai d'encaissement de la vente d'un produit  $i$  à la période  $t$  pour la  $BU_j$ .

$CA_{i,BU_j,t}$  le chiffre d'affaire généré par la  $BU_j$  pour le produit  $i$  à la période  $t$ .

$QV_{i,BU_j,t}$  la quantité de produits vendus  $i$  par  $BU_j$  à la période  $t$ .

$PV_{i,BU_j,t}$  le prix de vente d'un produit  $i$  vendu par  $BU_j$  à la période  $t$ .

$c_{k,t,z}$  le coût unitaire de la ressource  $z$  pour l'usine  $k$  à la période  $t$ .

$r_{i,BU_j,t,z}$  la quantité de ressources de  $z$  consommées directement par le produit  $i$  par la  $BU_j$  à la période  $t$ .

$a_{BU_j,t,a,z}$  la quantité de ressources  $z$  consommées indirectement par l'activité  $a$  dans la  $BU_j$  à la période  $t$ .

$Q_{i,k,t}$  la quantité du flux physique (quantité vendue, achetée, transportée, produite, etc.) sur l'entité  $k$  de produit  $i$  à la période  $t$ .

$Cr_{i,k,t,z}$  le coefficient de consommation de la ressource  $z$  par l'élément d'un flux physique (quantité vendue, achetée, transportée, produite, etc.) pour le produit  $i$  à la période  $t$  sur l'usine  $k$ .

$IC_{k,t,a}$  la quantité d'inducteurs de coût de l'activité  $a$  consommés dans l'usine  $k$  à la période  $t$ .

$CI_{k,t,a,z}$  le coefficient de consommation de ressource  $z$  par l'activité  $a$  sur l'usine  $k$  à la période  $t$ .

$Ic_{k,t,a}$  représente la quantité d'inducteurs de coût de l'activité  $a$  générées à la période  $t$  sur l'usine  $k$ .

$Ic_{k,t,a} = f(Q_{i,k,t}, a)$  où  $f$  est une fonction qui dépend de l'inducteur de coûts considéré.

Formalisation du cash flow généré par une  $BU_j$  à la période  $t$  :

$$CF_{BU_j,t} = PP_{BU_j,t} - E_{BU_j,t}$$

où

$$PP_{BU_j,t} = \sum_{i \in I} Pp_{i,BU_j,t}$$

$$E_{BU_j,t} = \sum_{z \in Z} Rp_{BU_j,t,z}$$

$Rp_{BU_j,t,z} = R_{BU_j,t-g,z}$  avec  $g(BU_j,t,z) = de_{BU_j,t,z}$ . Pour faciliter la formalisation, on notera  $g(BU_j,t,z) = g$ .

$Pp_{i,BU_j,t} = CA_{i,BU_j,t-h}$  avec  $h(BU_j,t,z) = dp_{i,BU_j,t}$ . Pour faciliter la formalisation, on notera  $h(BU_j,t,z) = h$ .

$$CA_{i,BU_j,t} = \sum_{BU'_j \in B} QV_{i,BU'_j,t} \times PV_{i,BU'_j,t}$$

$$R_{BU_j,t,z} = c_{BU_j,t,z} \times \left( \sum_{i \in I} r_{i,BU_j,t,z} + \sum_{a \in A} a_{BU_j,t,a,z} \right)$$

$$r_{i,BU_j,t,z} = \sum_{k \in BU_j} Q_{i,k,t} \times Cr_{i,k,t,z}$$

$$a_{BU_j,t,a,z} = \sum_{k \in BU_j} IC_{k,t,a} \times CI_{k,t,a,z}$$

Cette formalisation mathématique permet à partir des données du flux physique telles que  $Q_{i,k,t,z}$  (quantité de produits achetés, vendus, transportés, produits, etc.) et  $Ic_{i,k,t,a}$  (nombre de lancements machine, nombre de réceptions de commandes, etc.) d'évaluer le flux financier d'une  $BU_j$  au sein d'une chaîne logistique.

On obtient donc :

$$CF_{BU_j,t} = PP_{BU_j,t} - E_{BU_j,t}$$

$$CF_{BU_j,t} = \sum_{i \in I} \left( QV_{i,BU_j,t-h} \times PV_{i,BU_j,t-h} \right) - \sum_{z \in Z} \left[ c_{j,t-g,z} \times \left( \sum_{i \in I} r_{i,BU_j,t-g,z} + \sum_{a \in A} a_{BU_j,t-g,a,z} \right) \right]$$

Au niveau de la chaîne logistique globale, il est également possible d'évaluer le flux financier généré au niveau de la chaîne logistique. Cela nous permet de définir la quantité de cash flow total au niveau d'une chaîne logistique (interne ou externe) par la somme des cash flow générés par chaque entité de la chaîne logistique.

$$CF_{total}_t = \sum_{BU_j \in B} CF_{BU_j,t}$$

ou encore

$$CF_{total}_t = \sum_{BU_j \in B} \left\{ \sum_{i \in I} \left( QV_{i,BU_j,t-h} \times PV_{i,BU_j,t-h} \right) - \sum_{z \in Z} \left[ c_{j,t-g,z} \times \left( \sum_{i \in I} r_{i,BU_j,t-g,z} + \sum_{a \in A} a_{BU_j,t-g,a,z} \right) \right] \right\}$$

Le cash flow de chaque  $BU_j$  permet de déterminer les niveaux de trésorerie de chaque  $BU_j$ . Le niveau de trésorerie est évaluée tout simplement à partir d'une trésorerie initiale comme la somme des cash flow successifs pour une  $BU_j$ .

$$CP_{BU_j,t} = CP_{BU_j,t-1} + CF_{BU_j,t}$$

## 2.4. ACTIVITES ET RESSOURCES PRISES EN COMPTE DANS L'ESTIMATION

Nous reprenons dans le tableau 4-1 les activités listées dans les contributions de (Shapiro, 1999) et (Ozbayrak et al., 2004).

Activités	Inducteurs de coûts
a1 = Changement d'outils majeurs au niveau de la production	Changement de campagne
a2 = Achats	Nombre de types de produits achetés pour chaque BUj
a3 = Expédition	Nombre de types de produits vendus pour chaque BUj
a4 = Activité d'ingénierie	Nombre de types de produits traités au cours de l'horizon
a5 = Administration	Nombre de produits i fabriqués
a6 = Maintenance	Taux d'utilisation des ressources usines
a7 = Ordonnancement de la production	Nombre de lots

Tableau 4-1. Tableau d'activité et d'inducteurs de coûts associés (Iashöshatt, 2004)

## 2.5. EVALUATION DU CRITERE DE MARGE ABC

Après avoir formalisé mathématiquement la création de cash flow au sein d'une chaîne logistique, nous proposons de développer la détermination d'un autre paramètre financier basé sur l'évaluation des coûts de la chaîne logistique.

L'utilisation de la méthode ABC permet de déterminer la consommation des coûts indirects grâce à l'évaluation des coûts de processus logistiques pour chaque BU et pour la chaîne globale. Dans ce contexte, le coût ABC de la chaîne logistique est la somme des coûts de processus dans chaque BU et des coûts directs engendrés par la fabrication de chaque produit. La valeur des stocks peut être également évaluée à tout niveau de la chaîne. Entre chaque élément de la chaîne, les transactions sont évaluées en prix de cession lorsque les processus concernent la

même entité juridique ou en prix de marché dans le cas où l'élément de la chaîne est en contact avec le client final ou avec des BU appartenant à des entreprises différentes. Les différences relevées entre des coûts ABC et des prix de cession ou de marché permettent aux managers d'évaluer la création de marge ABC (niveau de profit) dans chaque entité de la chaîne. Les différents inducteurs, révélés par l'analyse des processus lors de l'élaboration du modèle de connaissance (à chaque processus élémentaire est associé un inducteur) permettent dès lors une évaluation des consommations indirectes issue de la planification tactique. Les lecteurs trouveront la formalisation mathématique dans (Comelli et al., 2006).

## 2.6. EVALUATION DU POTENTIEL DE MARGE

Le dernier critère évalué, pour un planning donné est le différentiel de marge ABC existant entre le planning proposé et un planning hypothétique qui aurait permis d'obtenir une satisfaction clientèle de 100%. Ce critère permet de mesurer le potentiel de progression que peut avoir, d'un point de vue financier, une amélioration de la satisfaction client. Le potentiel de création de marge ABC est ainsi évalué en combinant la différence entre la demande et la quantité vendue par une BU ou par la chaîne globale avec la marge sur coûts directs. A l'instar de la marge ABC, la formalisation mathématique du potentiel de marge ABC est donnée dans (Comelli et al., 2006).

## 3. SYNTHÈSE DE L'APPROCHE PREVA

Une formalisation mathématique liant le flux physique au flux financier a été proposée. L'approche nommée PREVA est basée sur l'utilisation du modèle de coût ABC et propose d'évaluer la consommation indirecte de ressources par l'intermédiaire d'activités préalablement établies. Grâce à cela, trois critères financiers, le cash flow, la marge ABC et le potentiel de marge ABC peuvent être évalués à partir d'une planification tactique donnée. Cette formalisation générique peut être utilisée pour évaluer des planifications tactiques ou adjointe à un modèle mathématique de référence pour la génération de planification. La figure 4-7 propose une synthèse de cette approche en explicitant la création de ces trois critères. Nous proposons dans la dernière section de ce chapitre d'évaluer sur un cas d'étude deux plans tactiques à la fois en termes de critères physiques et de critères financiers.

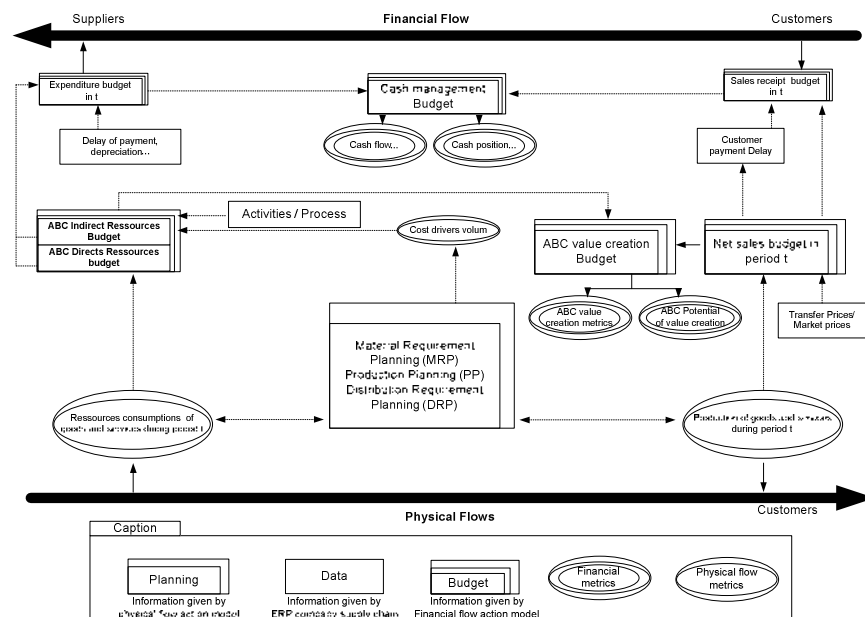


Figure 4-7. Synthèse de l'approche PREVA (Comelli et al, 2008) (a)

#### 4. APPLICATION DE L'OUTIL PREVA SUR UN CAS D'ETUDE

L'objectif de cette étude est d'appliquer l'outil PREVA sur un cas d'étude. Pour cela, nous étudions la chaîne logistique étudiée au chapitre 3. Le but majeur de cette étude est d'illustrer l'impact d'une planification tactique sur les flux financiers. Pour cela, la génération de plans optimaux n'est pas demandée. Ainsi cette étude est basée sur l'analyse de deux plans tactiques générés à partir d'heuristiques différentes permettant d'illustrer l'impact du flux physique à un niveau tactique sur les flux financiers.

##### 4.1. DESCRIPTION DU CAS D'ETUDE

Pour cela nous considérons une chaîne logistique fabriquant et assurant la livraison de plusieurs produits. Dans ce cas d'étude, nous considérons 6 produits P1, P2, P3, P4, P5 et P6. Le réseau logistique est identique à celui du chapitre précédent. La chaîne logistique est constituée de 6 usines U1, U2, U3, U4, U5 et U6 fabriquant des produits à nomenclature linéaire ainsi que de quatre entrepôts (E1, E2, E3, et E4).

Dans ce cas d'étude, nous considérons que la chaîne logistique est constituée de six BU notées BU1, BU2, BU3, BU4, BU5 et BU6. Nous adoptons une approche centralisée pour l'ensemble de la chaîne logistique en supposant que les BU ont nommé un supply chain manager chargé de proposer une planification tactique à l'ensemble des BU constituées. Nous rappelons la définition de ces produits et leur allocation aux usines.

Nous considérons l'ensemble Nf de produits finis {P1...P6}, chaque produit fini est obtenu par la transformation successive de demi-produit(s) spécifique(s) à chaque produit fini. Nous considérons 4 niveaux de nomenclature. Pour  $P_i \in Nf$ , nous notons les demi-produits  $P_{i0}$ ,  $P_{i1}$ ,  $P_{i2}$ ,  $P_{i3}$  avec  $P_{i0}=P_i$ .

La matrice gozinto  $A_{ij}$  (déterminant le nombre de produits i nécessaire pour obtenir un produit j) est donc la suivante (figure 4-8) :

$$A = \begin{pmatrix} & P_{10} & P_{11} & P_{12} & P_{13} & \dots & P_{60} & P_{61} & P_{62} & P_{63} & \dots & P_{60} & P_{61} & P_{62} & P_{63} \\ P_{10} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{11} & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{12} & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{13} & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{60} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{61} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{62} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{63} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{60} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{61} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 & 0 \\ P_{62} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 & 0 \\ P_{63} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Figure 4-8. Matrice gozinto

L'affectation des produits aux usines est déterminée par l'ensemble  $N(i)$  qui définit les usines fabriquant le produit i.

Les BU sont constituées de la manière suivante (figure 4-9) :

- BU1 est constituée de U1 et de E1.
- BU2 est constituée uniquement de U2.
- BU3 est constituée uniquement de U3.
- BU4 est constituée uniquement de U4.
- BU5 est constituée de U5 et de E2.
- BU6 est constituée de U6 et de E3 et E4.

$$\forall i \in Nf, N(i_0) = \{U6\}$$

$$N(i_1) = \{U5\}$$

$$N(i_2) = \{U2, U3, U4\}$$

$$N(i_3) = \{U1\}$$

Les entrepôts E1, E2, E3 et E4 sont donc dédiés respectivement aux produits  $P_{i0}$ ,  $P_{i1}$ ,  $P_{i2}$ ,  $P_{i3}$ . Nous considérons un ensemble de BU externes à la chaîne logistique étudiée composée de BU externes clients et de BU externes fournisseurs.

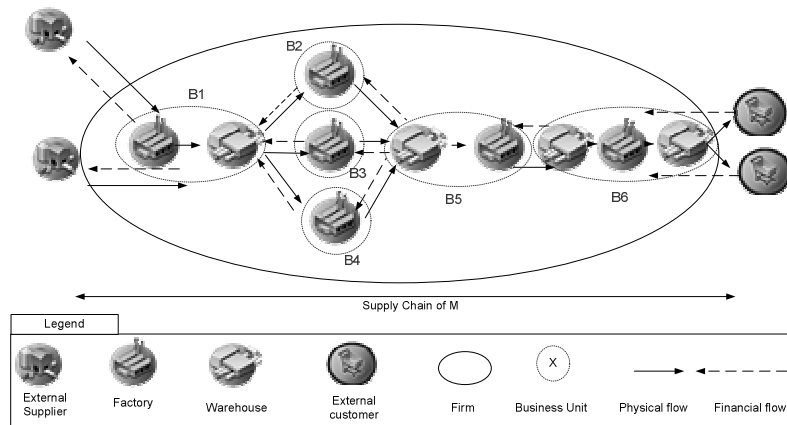


Figure 4-9. Synoptique de la chaîne logistique considérée

L'objectif de cette étude est de générer deux plans tactiques pour l'ensemble de la chaîne logistique, le premier obtenu par des critères purement physiques, le second obtenu en tenant compte de critères financiers. Le but final est alors d'évaluer les deux solutions obtenues selon les critères physiques traditionnels (TSD client, niveau de stock, etc.) mais surtout en fonction des critères financiers dans ce chapitre. Pour cela, nous donnons par la suite les activités et inducteurs de coûts pris en compte dans ce cas d'étude pour modéliser la consommation de ressources.

#### 4.2. ACTIVITES ET RESSOURCES CONSOMMEES

Les ressources ABC considérées sont données dans le tableau 4-2.

Ressources - Ensemble Z
Salaires
Energie
Consommables

Tableau 4-2. Ressources considérées

Pour chaque ressource, les activités majeures permettant d'expliquer la consommation des ressources ainsi que les inducteurs de coûts associés sont données dans le tableau 4-3. Pour chaque BU, les activités élémentaires du modèle SCOR ont été retenues. Nous donnons dans le tableau 4-4 les activités et les inducteurs de coûts considérés par BU.

Activités - Ensemble A
Approvisionner
Fabriquer
Délivrer

Tableau 4-3. Activités considérées

Le tableau 4-4 donne pour chaque BU les inducteurs de coûts correspondant aux activités considérées.

Activités	Approvisionner	Planifier	Délivrer
Inducteur de coût			
BU1	Nombre de fournisseurs	Nombre de campagnes	Nombre de produits vendus
BU2	Nombre de produits commandés	Nombre de campagnes	Nombre de produits vendus
BU3	Nombre de produits commandés	Nombre de campagnes	Nombre de produits vendus
BU4	Nombre de produits commandés	Nombre de campagnes	Nombre de produits vendus
BU5	Nombre de produits commandés	Nombre de campagnes	Nombre de produits vendus
BU6	Nombre de produits commandés	Nombre de campagnes	Nombre de produits vendus

**Tableau 4-4. Inducteurs de coûts considérés**

La modélisation de l'ensemble du processus logistique entre les différents BU est donnée par le diagramme Chaîne Processus Événementiel (figures 4-10 et 4-11). Il permet de visualiser l'ensemble des processus logistiques ainsi que les inducteurs de coûts rattachés à ces derniers.

#### 4.3. MISE EN ŒUVRE DU MODELE D'ACTION

Nous définissons dans cette partie la mise en œuvre du modèle d'action. Le but de l'étude est d'évaluer par des critères physiques et financiers deux plans tactiques de la chaîne logistique. Pour générer les modèles de planification, deux solutions ont été envisagées :

- l'utilisation de modèles mathématiques et de méthodes d'optimisation,
- le recours à un modèle de simulation.

Comme mentionné précédemment, la recherche d'une planification optimale n'est pas considérée comme le critère primordial à cette première étude. Notre souhait est d'illustrer l'impact des flux financiers à moyen terme en modélisant fidèlement le fonctionnement de la chaîne logistique. Pour ces raisons, le choix a été porté sur l'utilisation d'un modèle de simulation à événements discrets permettant de modéliser finement les contraintes de la chaîne logistique. Le modèle de simulation a donc été utilisé de manière à reproduire la décision du supply chain manager à chaque instant de telle façon à générer un plan tactique pour l'ensemble des BU de la chaîne logistique. Un modèle de simulation développé sous SIMAN ARENA VII a donc été développé. Ce modèle de simulation est un modèle de simulation déterministe à événement discret. Ce dernier reproduit la prise de décision du ou des supply chain managers au niveau de chaque BU de telle façon à répondre au mieux aux besoins clients finaux et internes.

Le fonctionnement simulé de cette chaîne logistique est basé sur une logique de flux tirés. Ainsi, chaque BU décide de produire un produit en fonction de ces niveaux de stock et de la demande prévisionnelle. Reproduire la décision du supply chain manager consiste donc à déterminer, à chaque fin de production, quelle sera le prochain produit fabriqué. Une agrégation de ces décisions au niveau de la semaine ou du mois permet de générer un plan tactique réalisable sur un horizon moyen terme.

Dans ce cas d'étude, les produits sont distingués par les critères physiques :

- coût de stockage,
- coût de production,
- coût de lancement,
- coût de demande perdue,

mais également sur des critères purement financiers tels que :

- leur prix de vente/ ou de cession,
- leur consommation de ressources (représentée par une marge),
- leur délai de paiement.

Ce modèle de simulation est basé sur un couplage entre le module de simulation du flux physique et un module décisionnel traduisant le choix du supply chain manager. Deux heuristiques ont été codées au sein de ce module décisionnel. Comme mentionné précédemment, la décision du supply chain manager est toujours guidée par les produits possédant la plus faible autonomie en fin de la chaîne logistique.

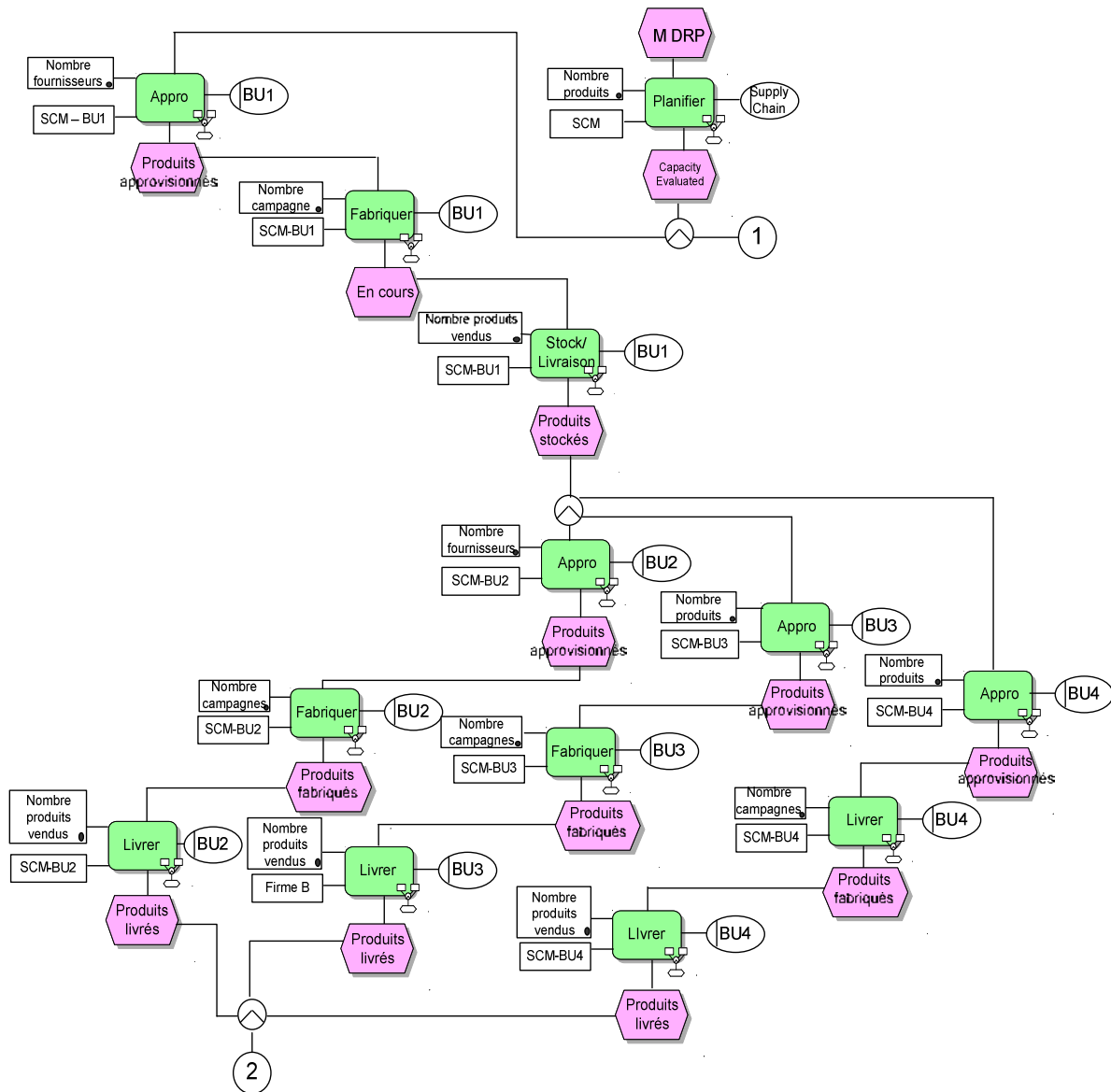


Figure 4-10. Modélisation ARIS CPE. Processus logistique (1)

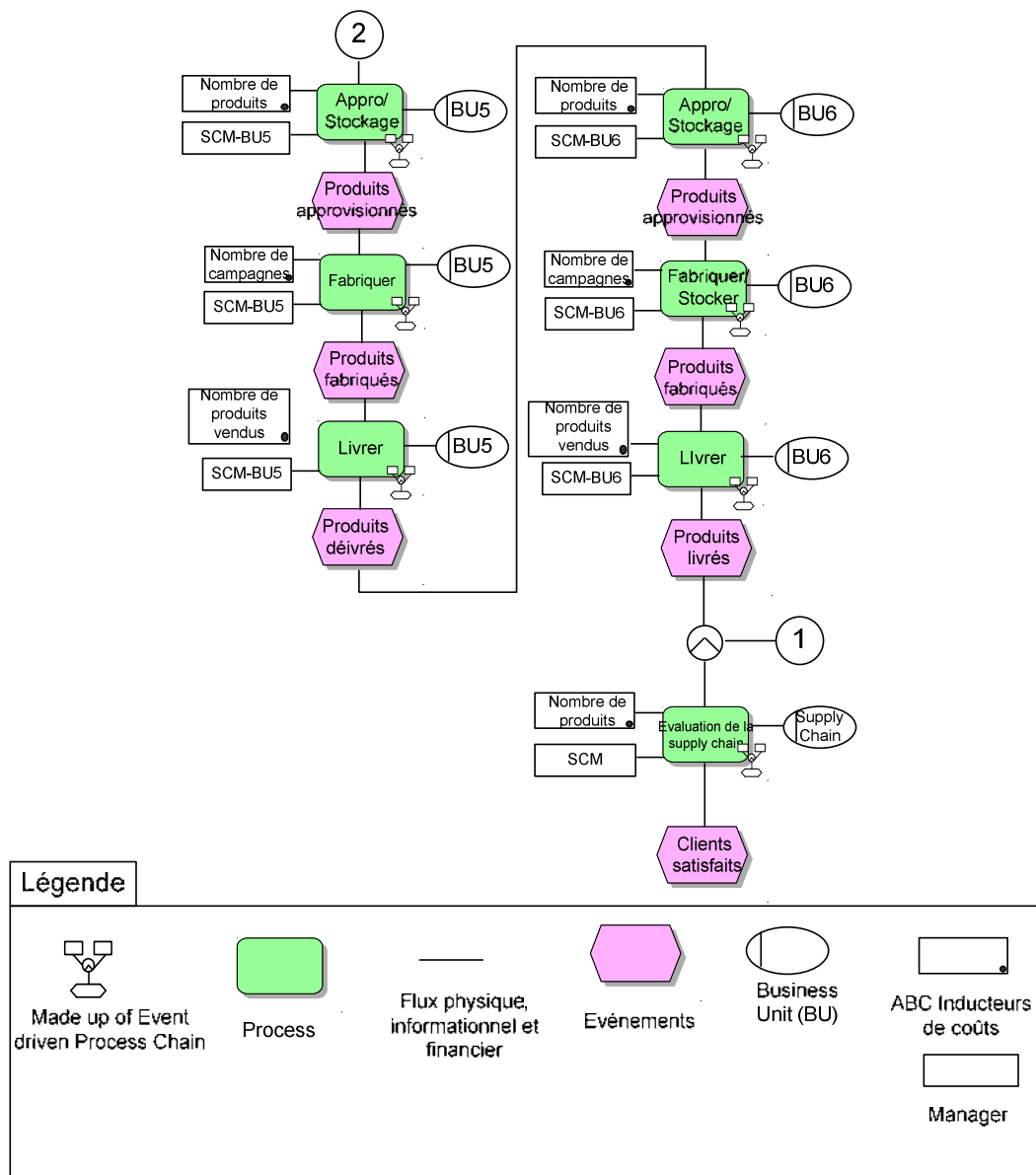


Figure 4-11. Modélisation ARIS CPE. Processus logistique (2)



L'autonomie est estimée en fonction du nombre de jours de couverture de demande clients et est calculée à partir de l'algorithme suivant :

---

**Algorithme 1: Calcul de l'Autonomie**

Début

p:=PériodeActuelle

Autonomie(i):=0

**Pour** i:=1 à n

**Tant que** stock(i,p)>0 **do** 'stock(i,p): stock du produit i à la période p

Autonomie:=Autonomie+1

stock(i,p+1):=stock(i,p)-demande(i,p)

p:=p+1

**Fin tant que**

**Fin pour**

Fin

---

La 1ère heuristique a pour but de favoriser la production des produits ayant la plus faible autonomie. Son algorithme de principe est le suivant :

---

**Algorithme 2: Heuristique de la stratégie PULL**

Début

ProdType:=0

AutonMin:=  $\infty$

**Pour** i:=1 à n

Calculer Autonomie(i)

**Si** Autonomie(i)<AutoMin

AutoMin :=Autonomie(i)

ProdType:=i

**Fin si**

**Fin pour**

Fin

---

La seconde heuristique diffère de la première, dans le fait qu'à autonomie équivalente l'heuristique dite financière privilégie les produits possédant les meilleures caractéristiques financières. Son algorithme de principe est le suivant :

---

**Algorithme 3: Heuristique de la stratégie financière PULL**

Début

ProdType:=0

FinanType:=0

AutonMin:= $\infty$

**Pour** i:=1 à n

**Si** Autonomie(i)<AutoMin

AutoMin :=Autonomie(i)

ProdType:=i

FinanType:=PayTerm(i)

**Fin si**

**Fin pour**

**Pour** j:=1 to n à

Calculer Autonomie(j)

**Si**      Autonomie(j)=AutoMin **et** ProdTerm(j)< FinanType  
             FinanType:=PayTerm(i)  
             ProdType:=j  
**Fin si**

**Fin pour**

Fin

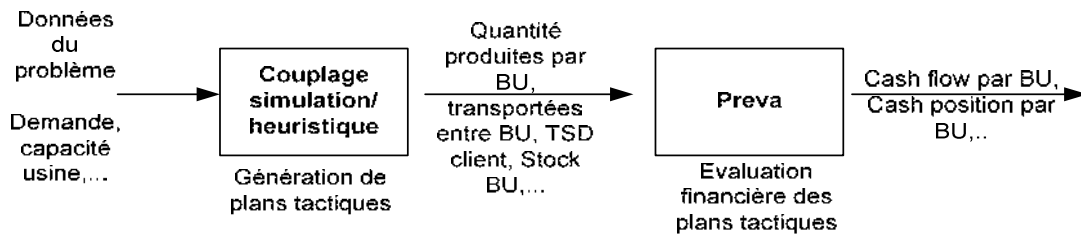
La mise en œuvre de ces deux heuristiques intégrées au modèle de simulation permet alors de générer un plan tactique de la chaîne logistique dont les variables sont :

- les quantités de produits fabriqués par BU,
- les quantités d'inducteurs de coûts consommées par chaque BU,
- les quantités de produits en stock,

et par suite

- les quantités de produits achetées par BU,
- les quantités de produits vendues par BU.

Dans un second temps, les données du flux physique sont alors utilisées par le modèle PREVA comme données d'entrée pour évaluer les critères financiers. La figure 4-12 rappelle la mise en œuvre des deux modèles simulation et PREVA.



**Figure 4-12. Mise en œuvre de PREVA pour l'évaluation financière d'un plan tactique**

#### 4.4.RESULTATS

Dans cette étude nous considérons 6 produits et un horizon de planification de 12 mois. Nous donnons dans le tableau 4-5 la classification de ces produits suivants les critères physiques et financiers. Nous distinguons deux catégories de produits pour chaque catégorie.

Produit	Critère physique	Critère financier
P1	1	1
P2	1	2
P3	1	5
P4	1	6
P5	2	3
P6	2	4

**Tableau 4-5. Critères physiques et financiers des produits**

Au niveau des critères physiques, nous considérons que chaque produit possède le même critère physique. Des plans tactiques générés sur un horizon d'un an à la maille jour ont été générés par le modèle de simulation. Les résultats de l'évaluation physique ont été agrégés à la maille mois pour des raisons de lisibilité. Les tableaux 4-6 et 4-7 présentent les résultats obtenus pour chaque heuristique.

Heuristique Physique N°1							
Produits	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Global SC
Quantités produites*1000	577	532	570	578	13	16	2286
Nombre de changements de campagne	26	21	25	19	17	17	125
TSD	100	100	80	100	40	40	83

**Tableau 4-6. Valeur des critères physiques pour l'heuristique physique**

Heuristique Financière N°2							
Produits	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Global SC
Quantités produites*1000	565	521	470	316	212	192	2276
Nombre de changements de campagne	26	21	25	19	17	17	125
TSD	100	100	50	50	100	100	83

Tableau 4-7. Valeur des critères physiques pour l'heuristique financière

	Heuristique N°1 Physique								Heuristique N°2 Financière							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Total		P1	P2	P3	P4	P5	P6	Total	
BU1	0	1600	0	1600	21000	18600	42800		1200	10000	9700	10000	800	800	32500	
BU5	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	
BU6	2000	17200	3580	2200	1300	600	26880		5600	19900	5480	4900	3100	2900	41880	
Global	2000	18800	3580	3800	22300	19200	69680		6800	29900	15180	14900	3900	3700	74380	

Tableau 4-8. Résultats des stocks pour les deux heuristiques physique et financière

L'analyse des résultats précédents (tableau 4-8) nous montre que les deux heuristiques génèrent des solutions très voisines en termes de performance basée sur les critères physiques. En effet, la réponse globale aux clients est similaire et l'écart au niveau des quantités stockées n'est que de 6,2% en faveur de l'heuristique physique. Ces résultats similaires s'expliquent par le contexte sous capacitaire de la chaîne logistique. Dans ce contexte, les deux heuristiques ne diffèrent que par le choix des produits à fabriquer prioritairement, mais globalement le nombre de produits est similaire ce qui entraîne une réponse client et un besoin de stock très voisins. Les heuristiques ont été développées de façon à obtenir des résultats similaires concernant les critères physiques, le but de l'étude étant de montrer la pertinence de l'évaluation financière.

Nous présentons donc les résultats obtenus par l'évaluation financière des deux heuristiques. Comme présenté précédemment, l'outil PREVA fournit une multitude d'indicateurs concernant les produits, les BU ou la chaîne logistique dans sa globalité. De façon à faciliter l'analyse des résultats, nous présentons la création de valeur (figure 4-13) par produit et par BU. En effet, la création de valeur donne la possibilité au supply chain manager de déterminer quel produit crée de la valeur (marge ABC) et à quel endroit dans la chaîne logistique, la valeur est créée ou bien détruite. Nous donnons par ailleurs les quantités de cash flow (et donc de cash position) dégagées par la chaîne logistique à chaque période de l'horizon de planification (figure 4-14). Nous donnons enfin le potentiel de création de valeur par produit (tableau 4-9).

L'analyse des figures 4-14 et 4-15 permet de constater que l'heuristique financière permet de dégager une marge plus importante qui se traduit par un cash flow et un cash position plus élevés au terme de l'horizon (+20 % de valeur dégagée par l'heuristique financière). Ces résultats sont logiques puisque pour deux produits ayant la même autonomie, l'heuristique financière choisit le produit ayant les critères financiers les plus intéressants. Il est intéressant de voir les possibilités d'analyse offerte par PREVA qui nous permet de connaître l'évolution de la trésorerie (cash position), ici pour la chaîne logistique, mais également pour chaque BU afin d'anticiper d'éventuelles périodes de cessation de paiement par exemple.

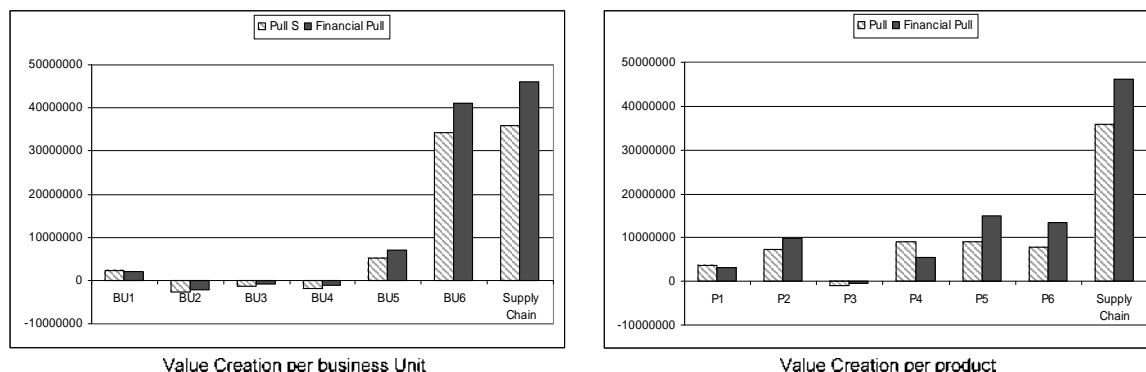


Figure 4-13. Valeur des créations de valeur par BU et par produit

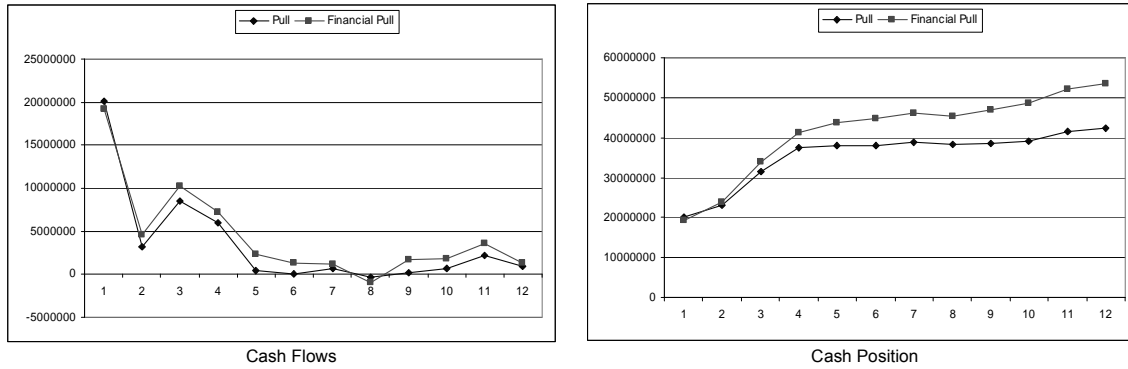


Figure 4-14. Valeur des cash flow et des cash positions pour la chaîne logistique entière

Concernant le potentiel de création de valeur, ce dernier est logiquement plus important pour l'heuristique physique puisque les résultats sont moins bons (tableau 4-9). Ces derniers expliquent notamment la différence de marge et de création de valeur entre les deux heuristiques. Ils montrent que l'intérêt du supply chain manager est de produire et de vendre un maximum de produits P5 et P6, ce qui est cohérent avec le plan généré par l'heuristique financière.

Potentiel création de valeur (€)	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Global SC
Heuristique financière	0	0	0	3859751	0	0	3859751
Heuristique physique	0	0	0	0	10347757	9740813	20088570

Tableau 4-9. Valeur des potentiels de création de valeur par produit

Nous présentons par le tableau 4-10 une analyse récapitulative du cas d'étude concernant les deux heuristiques. Ce tableau présente une synthèse des critères de comparaison à la fois physique et financière ; le but de ce cas d'étude étant d'illustrer, qu'à critères physiques équivalents, deux plans générés par deux heuristiques distinctes peuvent générer des performances financières très différentes.

	Heuristique n°1 Financière	Heuristique n°2 Physique
<b>TSD</b>	≈	≈
<b>Stock</b>	≈	+≈
<i>Les indicateurs classiques des flux physique ne permettent pas Supply Chain Manager de sélectionner efficacement un planning</i>		
<b><math>\alpha = 1</math>; Création de valeur</b>	+	-
<b><math>\beta = 1</math>; Cash flow</b>	+	-
<b>Cash position</b>	+	-
<b><math>\gamma = 1</math>; Potentiel de creation de</b>	+	-
<b>Selection de planning</b>	+	-
<i>En utilisant l'approche PREVA, le manager est capable de selectionner un planning en utilisant des critères physiques et financiers.</i>		

Tableau 4-10. Tableau récapitulatif des critères physiques et financiers

## 5. CONCLUSION

Ce chapitre présente une formalisation des flux financiers générés par une planification tactique des flux physiques. Cette approche est nommée PREVA pour PROcess EVALuation. Cette dernière est basée sur l'obtention de trois paramètres : le cash flow dégagé (et par déduction les niveaux de trésorerie), la marge ABC et le potentiel de marge. Ces trois critères sont obtenus par l'évaluation des consommations de ressources générées par le flux physique au moyen du modèle de coût ABC.

Le modèle de connaissance des chaînes logistiques donné au chapitre 3 a été ainsi élargi pour prendre en compte les concepts de base du modèle ABC que sont les ressources et les activités auxquelles ont été adjoints les éléments financiers de délai de paiement et de délai d'encaissement de manière à générer, non pas une valeur budgétaire, mais une valeur financière. Ce chapitre donne ainsi une formalisation mathématique du critère cash flow pour chaque BU de la chaîne logistique déterminé par la différence entre les recettes dégagées et les

dépenses. L'obtention du cash flow dégagé par la chaîne logistique est obtenue par sommation des cash flow des BU la composant. A l'instar de tout modèle, la pertinence de ce dernier réside dans la granularité choisie, c'est-à-dire dans ce cas, dans la modélisation des consommations indirectes de ressources effectuées au moyen d'activités dont la quantité est transcrite au moyen d'inducteurs de coûts.

La formalisation proposée des critères est une formalisation générique qui permet de considérer un ensemble non déterminé d'activités et de ressources par BU. C'est ainsi aux experts de décider quelles ressources possèdent une consommation dépendante du flux physique, et quels sont les activités et les inducteurs de coûts les traduisant.

Ce chapitre propose enfin de montrer, par un cas d'étude, la pertinence de coupler l'évaluation des critères physiques et celle des critères financiers. Pour cela, une chaîne logistique est étudiée. Deux master plans sont générés par couplage de simulation et d'heuristiques, le premier est généré au moyen d'une heuristique classique qui cherche à optimiser la réponse client, le second est généré par une heuristique qui cherche également à optimiser la réponse client mais qui favorise les produits et les clients qui possèdent des critères financiers plus intéressants. Les résultats montrent, qu'à performance équivalente concernant les critères physiques, les deux plans ont des performances différentes concernant les critères financiers (meilleure pour la solution générée par l'heuristique optimisant les critères financiers). La conclusion de cette étude est qu'il est pertinent d'adjoindre aux évaluations classiques des plans de production basés sur des critères physiques (niveau de stock, performance des clients, etc.), une évaluation des flux financiers ; en effet, à niveau de performance équivalente suivant les critères physiques, les performances financières peuvent être bien différentes.



## **CHAPITRE 5 : OPTIMISATION DES FLUX FINANCIERS ET PARTAGE DE LA VALEUR AU SEIN D'UNE CHAÎNE LOGISTIQUE (Comelli *et al.*, 2007) (b)**

<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>133</b>
<b>2. OPTIMISATION DES FLUX FINANCIERS DANS LE PROCESSUS DE PLANIFICATION TACTIQUE</b>	<b>133</b>
2.1. FORMALISATION MATHÉMATIQUE DU CASH FLOW .....	133
2.2. HOMOGENÉISATION DES VARIABLES FINANCIÈRES ET PHYSIQUES .....	135
<b>3. UN PROGRAMME LINÉAIRE POUR L'OPTIMISATION DU CASH FLOW D'UNE CHAÎNE LOGISTIQUE.....</b>	<b>144</b>
3.1. FONCTION OBJECTIF OPTIMISANT LE CASH FLOW GLOBAL .....	144
3.2. FORMALISATION MATHÉMATIQUE DU CASH FLOW GLOBAL D'UNE CHAÎNE LOGISTIQUE.....	145
<b>4. UN CHAINAGE DE PROGRAMMES LINÉAIRES POUR L'OPTIMISATION ET LE PARTAGE DES CASH FLOW .....</b>	<b>146</b>
4.1. INTRODUCTION.....	146
4.2. CHAINAGE DE MODÈLES .....	146
4.3. MODÈLE MATHÉMATIQUE DU PARTAGE DE LA VALEUR.....	146
<b>5. APPLICATION DES OUTILS PROPOSÉS SUR UN CAS D'ÉTUDE .....</b>	<b>149</b>
5.1. DESCRIPTION DU CAS D'ÉTUDE .....	149
5.2. AFFECTATION DES STOCKS .....	150
5.3. CONTRAINTES FINANCIÈRES .....	150
5.4. MODÈLES D'OPTIMISATION DES FLUX FINANCIERS .....	152
5.5. MODÈLES DE PARTAGE DE LA VALEUR.....	153
5.6. EXPLOITATION DES RÉSULTATS.....	156
<b>6. CONCLUSION.....</b>	<b>160</b>

## 1. INTRODUCTION

Ce chapitre se focalise sur la génération de plans tactiques à partir de critères purement financiers. L'objectif de celui-ci est de joindre les connaissances développées au sein des deux précédents chapitres concernant la planification tactique des chaînes logistiques et l'évaluation de critères financiers à un niveau tactique afin de proposer un modèle de planification tactique optimisant la satisfaction financière.

En effet, le chapitre 3 propose un modèle de planification tactique générique à l'ensemble des chaînes logistiques dites à nomenclature convergente. Pour rappel, la généralité de ce modèle a été obtenue en limitant la réponse du modèle de planification à l'obtention de plans de production synchronisés. Une méthode d'optimisation à base de recuit simulé a été développée pour la génération de plans tactiques. Le cas d'étude développé a ainsi permis d'illustrer la performance de la méthode proposée dans le cas d'une fonction objectif traditionnelle.

L'utilisation de ce type de fonction objectif est discutable et fait partie intégrante de notre problématique. En effet, les précédents chapitres (2 et 4) soulignent la pertinence de traduire la satisfaction managériale, non pas par une fonction objectif traditionnelle, mais par une fonction objectif traduisant la génération des flux financiers. Pour cela, le chapitre 4 propose de lier flux physique et flux financier et illustre la pertinence de l'évaluation financière de la planification tactique au moyen d'un cas d'étude. Ce chapitre présente ainsi une formalisation mathématique de trois critères financiers basés sur l'évaluation au préalable des flux physiques. Parmi ces trois critères, le critère de cash flow est utilisé pour évaluer le flux financier dégagé par les BU de la chaîne logistique ainsi que leur niveau de trésorerie. Comme mentionné précédemment, ce critère traduit la satisfaction managériale de chaque entité de la chaîne logistique faisant de lui le critère financier majeur pour la planification tactique.

Nous proposons donc dans ce chapitre d'ajouter au modèle de planification traditionnel une fonction objectif traduisant les cash flow dégagés par la chaîne logistique. L'intégration de ce critère financier au sein même des modèles de planification tactique permet ainsi de proposer un outil qui assure une optimisation des flux financiers. La fonction objectif proposée dans ce chapitre est très proche de la formalisation des cash flow présentés au chapitre 4. Son obtention n'en demeure pas moins complexe puisque les variables des modèles de planification et celles des flux financiers diffèrent. Ceci requiert donc d'explicitement mathématiquement le lien entre variables financières et physiques afin d'unifier les variables du modèle de planification. Après avoir exprimé d'une manière globale les variables financières en fonction des variables physiques dans le cas des modèles de planification les plus couramment utilisés de la littérature, nous spécifions l'expression de ces dernières pour le modèle de planification proposé au chapitre 3. Nous définissons de cette manière un modèle de planification permettant l'optimisation des flux financiers dégagés par une chaîne logistique dite à nomenclature convergente.

Après avoir montré que l'optimisation des flux financiers de la chaîne logistique est partiellement indépendante de la valeur des flux financiers de chaque BU la composant, nous discutons dans ce chapitre du partage de la valeur au sein de cette dernière. Pour cela, nous proposons un second modèle mathématique permettant de partager la valeur au sein de la chaîne logistique à travers la fixation des prix de cession interne. Nous proposons donc un chaînage de modèles permettant premièrement l'optimisation de la création de la valeur et secondement le partage de la valeur au sein des chaînes logistiques.

Dans une ultime section, nous mettons en œuvre ce chaînage sur un cas d'étude. Dans un premier temps, nous comparons les plannings tactiques obtenus suivant deux fonctions objectif (l'une basée sur les coûts et l'autre sur les cash flow). Par cela, nous désirons évaluer, ou tout du moins illustrer, la différence engendrée en termes de planification tactique par ces deux fonctions objectif. Dans un second temps, nous illustrons sur un cas d'étude le partage de la valeur au sein de la chaîne logistique. Ce chapitre a fait l'objet d'une publication dans une revue internationale (Comelli *et al.*, 2007)(b).

## 2. OPTIMISATION DES FLUX FINANCIERS DANS LE PROCESSUS DE PLANIFICATION TACTIQUE

Comme mentionné précédemment, la formalisation d'une fonction objectif maximisant les cash flow dégagés par la chaîne logistique est très voisine de l'expression des cash flow exprimés au chapitre 4. Néanmoins, de façon à faciliter son intégration dans les modèles de planification tactique, il est nécessaire de réexprimer la formule de cash flow.

### 2.1. FORMALISATION MATHÉMATIQUE DU CASH FLOW

La formalisation du chapitre 4 définit le cash flow généré par une BU comme la différence entre ses ventes et les dépenses générées par la consommation de ses ressources. Nous proposons de reprendre cette formalisation pour



exprimer de manière plus explicite la consommation des ressources de manière à faciliter l'expression des variables financières en variables physiques.

Pour cela, nous rappelons donc la formalisation générique des flux financiers donnée au chapitre 4.

Soit  $N$  l'ensemble des produits pris en compte par la chaîne logistique.

Soit  $K$  l'ensemble des usines notées  $U_i$  appartenant à la chaîne logistique étudiée.

Soit  $B$  l'ensemble des Business Unit  $BU_j$  appartenant à la chaîne logistique étudiée.

Soit  $T$  l'ensemble des périodes de l'horizon considéré.

Soit  $A$  l'ensemble des activités considérées dans la modélisation des coûts ABC.

Soit  $PV_{i,BU_j,t}$  le prix de vente du produit  $i$  par la  $BU_j$  à la période  $t$ .

Soit  $QV_{i,BU_j,t}$  la quantité vendue de produit  $i$  par la  $BU_j$  à la période  $t$ .

Soit  $c_{BU_j,t,z}$  le coût unitaire de la ressource  $z$  consommée par la  $BU_j$  à la période  $t$ .

Soit  $r_{i,BU_j,t,z}$  la quantité de ressources de  $z$  consommées par le produit  $i$  par la  $BU_j$  à la période  $t$ .

Soit  $a_{BU_j,t,a,z}$  la quantité de ressources  $z$  consommées par l'activité  $a$  pour la  $BU_j$  à la période  $t$ .

Soit  $g(BU_{j,t,z}) = de_{BU_{j,t,z}}$  le délai de paiement de la ressource  $z$  à la période  $t$  pour la  $BU_j$ . Pour faciliter la formalisation, on notera  $g = g(BU_{j,t,z})$ .

Soit  $h(BU_{j,t,z}) = dp_{i,BU_j,t}$  le délai d'encaissement de la vente d'un produit  $i$  à la période  $t$  pour la  $BU_j$ . Pour faciliter la formalisation, on notera  $h = h(BU_{j,t,z})$ .

Le cash flow généré par une  $BU_j$  à la période  $t$  s'exprime de la manière suivante :

$$CF_{BU_j,t} = \sum_{i \in I} (QV_{i,BU_j,t-h} \times PV_{i,BU_j,t-h}) - \sum_{z \in Z} \left[ c_{BU_j,t-g,z} \times \left( \sum_{i \in I} r_{i,BU_j,t-g,z,q} + \sum_{a \in A} a_{BU_j,t-g,a,z} \right) \right]$$

Ainsi, nous proposons d'exprimer plus explicitement le cash flow dégagé par une  $BU_j$  en faisant apparaître les ventes de produits, les achats de matières premières et les consommations de ressources.

En effet dans l'expression précédente, l'ensemble des ressources  $Z$  comprend la ressource d'achat des matières premières. Nous proposons donc de définir :

- $QA_{i,BU_j',BU_j,t}$  les quantités de produit  $i$  achetées par  $BU_j$  à  $BU_j'$  à la période  $t$ .
- $PA_{i,BU_j',BU_j,t}$  le prix d'achat du produit  $i$  de la  $BU_j$  à la  $BU_j'$  à la période  $t$ .

De plus, d'après le chapitre 4 :

$$r_{i,BU_j,t,z} = \sum_{k \in BU_j} Q_{i,k,t} \times Cr_{i,k,t,z}$$

avec  $Q_{i,k,t}$  = quantité de produit  $i$  fabriqué, vendu ou transporté par l'usine  $k$ .

$Cr_{i,k,t,z}$  = coefficient de consommation de la ressource  $z$  par l'élément du flux physique pour le produit  $i$  à la période  $t$  par l'usine  $k$ .

$$\text{et } a_{BU_j,t,b,z} = \sum_{k \in BU_j} IC_{k,t,b} \times Ci_{k,t,b}$$

$IC_{k,t,a}$  = quantité d'inducteurs de coût de l'activité  $a$  à la période  $t$  par l'usine  $k$ .

$Ci_{k,t,a,z}$  = coefficient de consommation de la ressource  $z$  par l'activité  $a$  à la période  $t$  par l'usine  $k$ .

Le cash flow généré par une  $BU_j$  à la période  $t$  peut donc s'exprimer de la manière suivante :

$$CF_{BU_j,t} = \sum_{i \in I} (QV_{i,BU_j,t-h} \times PV_{i,BU_j,t-h}) - \sum_{BU_j \in B} \sum_{i \in I} (QA_{i,BU_j,BU_j,t-g} \times PA_{i,BU_j,BU_j,t-g}) - \sum_{z \in Z'} \left( \sum_{i \in I} \sum_{k \in BU_i} c_{k,t-g,z} Q_{i,k,t-g} Cr_{i,k,t-g,z} + \sum_{a \in A} \sum_{k \in BU_i} c_{k,t-g,z} Ci_{k,t-g,a,z} IC_{k,t-g,a} \right)$$

avec  $Z' = Z - \{\text{« ressources des achats »}\}$

En définissant pour chaque ressource un coût de consommation directe par produit  $Cd_{i,j,t,z}$  et un coût de consommation indirecte par activité  $Cid_{j,t,a,z}$  avec  $Cd_{i,k,t,z} = c_{k,t,z} \times Cr_{i,k,t,z}$  et  $Cid_{k,t,a,z} = c_{k,t,z} \times Ci_{k,t,a}$ , nous obtenons la formalisation du cash flow généré par une  $BU_j$  en fonction des variables suivantes  $QV_{i,BU_j,t}$ ,  $QA_{i,BU_j,BU_j,t}$ ,  $Q_{i,k,t}$ ,  $IC_{k,t,a}$ ,  $PV_{i,BU_j,t,q}$  et  $PA_{i,BU_j,BU_j,t,q}$  et les paramètres  $Cd_{i,k,t,z}$ ,  $Cid_{k,t,a,z}$ ,  $g(BU_{j,t,z})$  et  $h(BU_{j,t,z})$ .

$$CF_{BU_j,t} = \sum_{i \in I} (QV_{i,BU_j,t-h} \times PV_{i,BU_j,t-h}) - \sum_{BU_j \in B} \sum_{i \in I} (QA_{i,BU_j,BU_j,t-g} \times PA_{i,BU_j,BU_j,t-g}) - \sum_{z \in Z'} \left( \sum_{i \in I} \sum_{k \in BU_i} Q_{i,k,t-g} Cd_{i,k,t-g,z} + \sum_{a \in A} \sum_{k \in BU_i} Cid_{k,t-g,a,z} IC_{k,t-g,a} \right)$$

## 2.2. HOMOGENEISATION DES VARIABLES FINANCIERES ET PHYSIQUES

En se référant aux modèles de planification tactiques génériques énoncés au chapitre 2 et celui proposé au chapitre 3, il est possible de constater que les variables utilisées par les deux modèles diffèrent. La figure 5-1 rappelle les variables les plus communément utilisées.

Au vu du tableau 5-1, peu de variables financières correspondent directement aux variables physiques. De façon à intégrer les critères financiers au modèle de planification tactique, il est alors nécessaire d'explicitier les variables financières en fonction des variables physiques. Leur expression dépend alors des hypothèses du modèle considéré en termes de granularité et de topologie des chaînes logistiques considérées.

### 2.2.1. REGLES DE FONCTIONNEMENT POUR L'ADAPTATION DU MODELE FINANCIER AUX MODELES DE PLANIFICATION TACTIQUE MULTI SITE

Nous proposons dans cette section d'exprimer les variables financières en fonction des variables physiques. Une première section se focalise sur la consommation des ressources tandis qu'une seconde se concentre sur les quantités achetées et vendues.

#### 2.2.1.1. Consommation directe et indirecte des ressources

Comme mentionné dans le chapitre 2, la modélisation des consommations de ressource est cruciale pour la pertinence de l'intégration du modèle ABC. Au niveau de la planification tactique, il est alors nécessaire d'identifier les ressources dont la consommation dépend des décisions prises à un niveau tactique. Nous distinguons ressources et consommation de ressources du fait qu'une ressource peut être consommée de différente manière. La figure 5-1 classifie les différentes consommations de ressources suivant leur dépendance aux décisions prises lors du processus planification tactique.

Reprenant la structure hiérarchisée des processus de planification, les décisions prises à un niveau stratégique définissent un cadre dans lequel les décisions tactiques doivent s'inscrire (choix des fournisseurs, location des entités de production, etc.). Ces choix ont alors pour conséquence de définir, ou tout du moins borner la consommation de ressources. En effet, le choix d'utiliser telles usines définit complètement par exemple la consommation de la ressource « loyer » et borne la consommation de la ressource « énergie » pour des raisons de capacité de l'usine. La consommation de la ressource « énergie » est alors dépendante des décisions prises à un niveau tactique au contraire de la ressource « loyer » dont la consommation est fixe.

Dès lors, il est possible de distinguer deux types de consommations de ressources :

- Les consommations de ressources indépendantes du flux physique tactique (assurance et location d'entrepôt, salaires de l'administration, etc.).
- Les consommations de ressources dépendantes du flux physique tactique (maintenance des ressources, salaires du personnel de production, etc.).

Modèle de planification générique	Liens	Variables financières	Modèle financier
Quantités de produit i fabriquées à la période t sur l'entité k $Q_{i,k,t}$	?	Quantités de produit i vendues à la période j par $BU_j$ à $BU_j$ $QV_{i,BU_j,BU_j,t}$	Ventes
Quantités de produit i transportées à la période t de l'entité k à l'entité k' $Q_{i,k,k',t}$		Quantités de produit i achetées à la période t par $BU_j$ à $BU_j$ ' $QA_{i,BU_j,BU_j,t}$	Achats
Variable binaire de lancement de produit à la période j sur l'entité k $X_{i,k,t}$		Quantités de produit i fabriquées à la période t sur l'entité k $Q_{i,k,t}$	Consommation de ressources directes
Quantités de produit i stocké à la période t $I_{i,t}$		Inducteurs de coûts (Nombre de campagnes, etc.) pour l'entité k à la période t concernant l'activité b $IC_{k,t,a}$	Consommation de ressources indirectes
Nombre d'heures supplémentaires utilisées à la période j sur l'entité k $QHS_{i,k,t}$			
Nombre d'intérimaires utilisés à la période j sur l'entité k $QNI_{i,k,t}$			

**Tableau 5-1. Variables physiques et variables financières**

De manière similaire, au niveau des consommations des ressources dépendantes du flux physique tactique, certaines sont presque totalement définies par les décisions prises au niveau tactique alors que d'autres ne peuvent être évaluées qu'en connaissant la mise en œuvre opérationnelle du flux physique. Nous distinguons donc :

- Les consommations de ressources dépendantes directement ou indirectement de décisions prises au niveau tactique (les achats de matières premières aux fournisseurs, salaire d'intérimaires, d'heures supplémentaires, etc.).
- Les consommations de ressources dépendantes de la façon dont va être mise en œuvre la production (consommation de machines, etc.).

D'un point de vue financier, le but de la planification tactique est d'estimer l'impact du flux tactique sur la consommation des ressources, mais ne consiste pas en aucun cas à estimer la consommation effective des ressources. En effet, cela supposerait que la planification tactique définisse la mise en œuvre de la planification tactique au niveau opérationnel, ce qui est un non sens sur l'ensemble de l'horizon de planification.

Dès lors, pour prendre en compte la consommation des ressources dépendantes de la mise en œuvre opérationnelle, une analyse de leur consommation doit être effectuée pour tenter de trouver une corrélation avec les variables du niveau de planification tactique. Dans le cas d'une forte corrélation avec les variables de

planification tactique, une agrégation de la consommation des ressources est pertinente et signifie que la consommation des ressources est définie au niveau tactique.

Dans le cas où aucune corrélation ne peut être définie, cela signifie que la planification tactique n'a pas de conséquence sur la consommation des ressources étudiées. Dans ce cas, une estimation par heuristique ou simulation peut être utilisée pour évaluer la consommation de ressources qui demeure cependant limitée par le flux physique tactique.

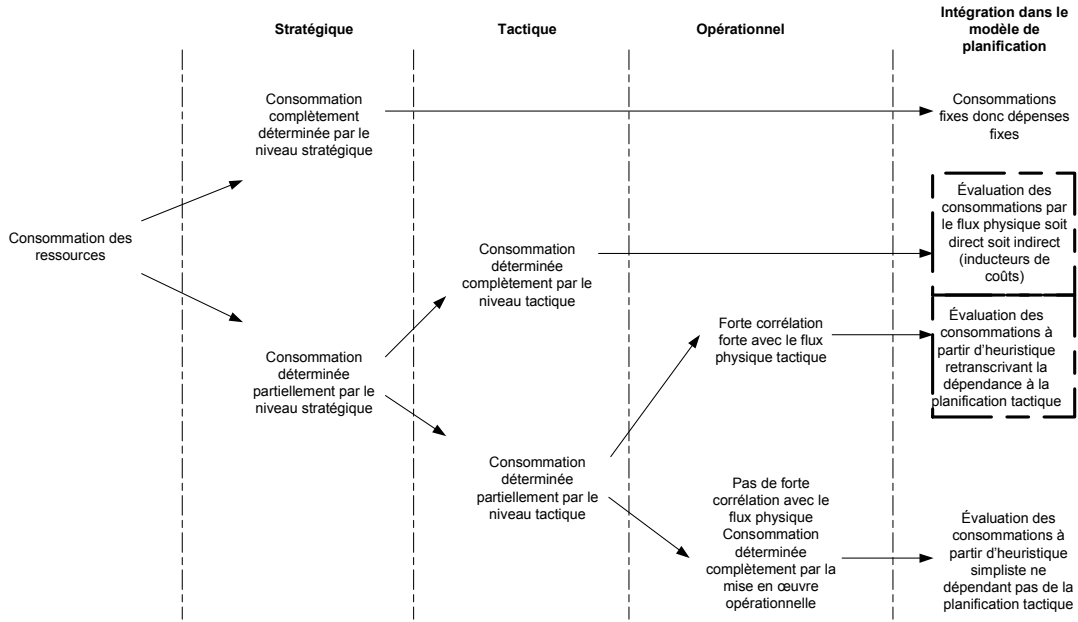


Figure 5-1. Consommation des ressources

Or, comme mentionné précédemment, nous ne retenons pour notre analyse que les consommations de ressources discriminantes à un niveau tactique (figure 5-1).

Nous distinguons donc :

- Les consommations directes en fonction des quantités de produits c'est à dire  $Q_{i,k,t}$ .
- Les consommations indirectes en fonction d'inducteurs de coût  $IC_{k,t,a}$  traduisant une quantité d'activité a consommée.

#### 2.2.1.2. Achats et Ventes

Nous nous concentrons dans cette section sur la formalisation des achats et des ventes de chaque BU en fonction des variables physiques. Les modèles de planification tactique, bien que très divers, sont dans la grande majorité basés sur les variables physiques suivantes : quantité de produit  $i$  fabriquée sur l'usine  $k$  à la période  $t$  ( $Q_{i,k,t}$ ) et quantité de produit  $i$  transportée de l'usine  $k$  à l'usine  $k'$  à la période  $t$  ( $QT_{i,k,k',t}$ ). L'objectif de cette section est donc de lier les quantités achetées et vendues en fonction des variables  $Q_{i,k,t}$  et  $QT_{i,k,k',t}$ . Ceci consiste donc à lier les processus d'achat et de ventes au process logistique des pièces par l'intermédiaire des stocks entre les entités.

Rappelons que dans le modèle financier considéré au chapitre 4, la période de décaissement due à l'achat de matières premières est estimée à partir de la période d'acquisition des matières premières à laquelle est ajouté un délai de décaissement. Le même raisonnement est réalisé pour la vente de produits en considérant un délai d'encaissement. Nous considérons donc que les dates d'acquisition et de vente correspondent aux dates effectives d'arrivée et de départ des produits au sein de la BU. Nous supposons donc que la présence physique du produit au sein d'une BU correspond donc à son acquisition financière.

A un niveau de planification tactique, les flux physiques sont élaborés de manière à prévoir et à anticiper la manière dont la réponse client sera satisfaite. Les quantités de produits planifiées par usine provoquent généralement une génération de stock pour de nombreuses raisons (capacités différentes entre usine, taille de lot économique, etc.) sur un horizon moyen terme.

Ainsi dans le cas de deux entités financières, l'une générant un stock  $i$  et l'autre consommant ce même stock  $i$ , il est possible de supposer que les coûts liés sont alors à la charge de l'une ou de l'autre entité. En d'autres termes, la désynchronisation des capacités usines devra donc être assumée par une des deux entités. Ainsi, si les entités amont fabriquent en avance par rapport aux entités aval, soit la quantité en stock est à la charge des entités amont, soit elle est à la charge des entités aval. Les figures 5-2 et 5-3 illustrent deux façons de rattacher des stocks à des entités de production.

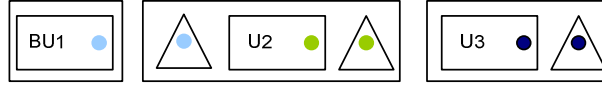


Figure 5-2. Affection des stocks à des usines (a)

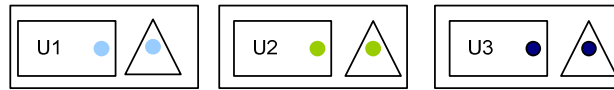


Figure 5-3. Affection des stocks à des usines (b)

Exprimer les variables financières en fonction des variables physiques consistent donc à déterminer parmi les BU quels BU sont en charge du stock créé pour un produit donné. Dans ce cas, le rattachement du stock à une BU permet alors de définir à moyen terme les quantités achetées et vendues en fonction des quantités produites et transportées.

Nous distinguons donc quatre types d'affectation de stock aux BU et exprimons pour chacune d'entre elles les quantités vendues et achetées.

- Le premier type d'affectation consiste à considérer la BU comme constituée d'une ou plusieurs entités de production et deux entités de stockage, l'une de matières premières et l'autre de produits finis (figure 5-4). Dans ce type de BU, les quantités vendues et achetées sont équivalentes aux quantités transportées. Ainsi,

$$QA_{i,BU_j',BU_j,t} = QT_{i,BU_j',BU_j,t} \text{ avec } BU_j' \in \text{fournisseurs de } BU_j \text{ et } QV_{i,BU_j,t} = \sum_{BU_j'} QT_{i,BU_j,BU_j',t} \text{ avec } BU_j' \in \text{clients de } BU_j.$$

$BU_j' \in \text{clients de } BU_j.$

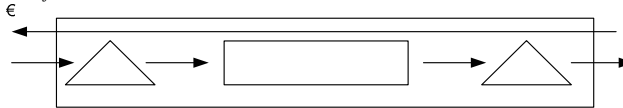


Figure 5-4. Affection des stocks amont et aval aux usines

- Le second type d'affectation consiste à considérer la BU comme constituée seulement d'une ou plusieurs entités de production et d'une entité de stockage de matières premières (figure 5-5). Dans ce cas, les quantités achetées sont égales aux quantités transportées, et les quantités vendues équivalentes aux quantités produites (puisque'il n'y a pas de lieu de stockage imputable à la BU).

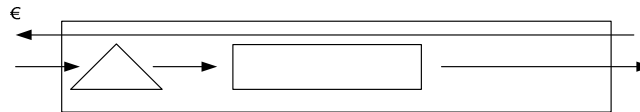


Figure 5-5 Affection du stock amont aux usines

$$QA_{i,BU_j',BU_j,t} = QT_{i,BU_j',BU_j,t} \text{ avec } BU_j' \in \text{fournisseurs de } BU_j. \quad QV_{i,BU_j,t} = Q_{i,BU_j,t}$$

- Le troisième type d'affectation consiste à considérer la BU comme constituée seulement d'une ou plusieurs entités de production et d'une entité de stockage de produits finis (figure 5-6). Dans ce cas, les quantités vendues sont égales aux quantités transportées, et les quantités achetées équivalentes aux quantités produites (puisque'il n'y a pas de lieu de stockage amont imputable à la BU considéré).

$$QA_{i,BU_j',BU_j,t} = Q_{i,BU_j,t}$$

$$QV_{i,BU_j,t} = \sum_{BU_j'} QT_{i,BU_j,BU_j',t} \text{ avec } BU_j' \in \text{clients de } BU_j$$

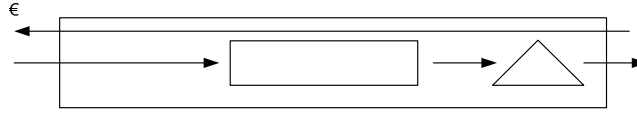


Figure 5-6. Affectation du stock aval aux usines

- Le dernier type d'affectation consiste à considérer la BU comme constituée seulement d'une ou plusieurs entités de production (figure 5-7). Dans ce cas, les quantités vendues et achetées peuvent être considérées équivalentes aux quantités produites.

$$QA_{i,BU_j',BU_j,t} = Q_{i,BU_j,t} \text{ et } QV_{i,BU_j,t} = Q_{i,BU_j,t}$$

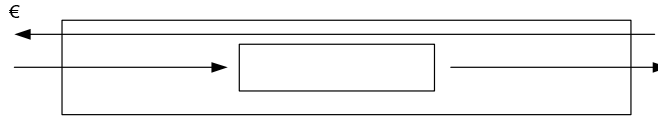


Figure 5-7. Aucune affectation du stock aval aux usines

Les spécifications précédentes permettent de rendre la formalisation des flux financiers génériques à l'ensemble des modèles de planification tactique énumérés au chapitre 2.

#### 2.2.2. ADAPTATION DU MODELE FINANCIER AU MODELE DE PLANIFICATION PHYSIQUE GENERIQUE PROPOSE

Nous proposons de spécifier les affectations précédentes au modèle de planification générique présenté au chapitre 3. Le modèle de planification proposé au chapitre 3 permet de synchroniser la planification de plusieurs entités de production sur un horizon moyen terme. Ce modèle est remarquable car il ne considère qu'un seul lieu de stockage théorique pour chaque produit. Cette hypothèse confond les quantités en stock provenant d'entités différentes. Nous proposons donc dans cette section de généraliser les liens entre variables financières et physiques au cas de plusieurs BU génératrices ou consommatrices d'un même stock.

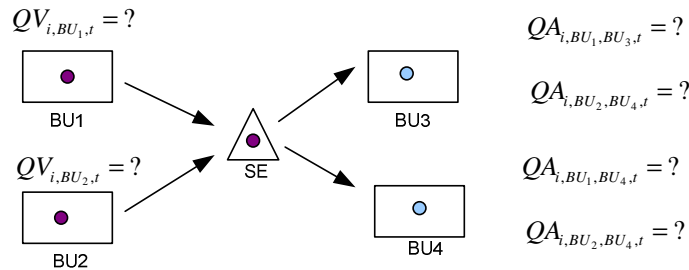


Figure 5-8. Considération d'un stock unique par produit

Si on considère le cas générique présenté par la figure 5-8, il est impossible de déterminer les quantités achetées et vendues par chaque BU puisque le stock (SE) confond les origines et les destinations des produits. Nous proposons donc deux types d'affectations des stocks :

- La première consiste à affecter le stock à une et une seule BU (Hypothèse A).
- La seconde consiste à affecter le stock soit à l'ensemble des BU génératrices, soit à l'ensemble des BU consommatrices du stock (Hypothèse B).

## 2.2.2.1. Règles de passage entre flux physiques et flux financiers (Hypothèse A)

Nous proposons de généraliser les règles de passage du flux financier au flux physique suivant l'hypothèse A. (Rattachement du stock à une seule BU)

On définit  $K$  l'ensemble des usines notées  $U_i$  appartenant à la chaîne logistique étudiée

$$K = \{U_1, U_2, U_3, \dots, U_K\}$$

On définit  $B$  l'ensemble des Business Unit  $BU_j$  appartenant à la chaîne logistique étudiée

$$B = \{BU_1, BU_2, BU_3, \dots, BU_I\}$$

On définit  $N$  l'ensemble des produits et la matrice GOZINTO.

Par définition,

$BU_j \subset K$  // Une  $BU_j$  est composée d'un ensemble d'usines  $U_i$ .

$$\bigcap_{j=1}^I BU_j = \emptyset \text{ // Les BU n'ont pas d'usines en commun}$$

$$\bigcup_{j=1}^I BU_j = K \text{ // Chaque usine appartient à une BU.}$$

On définit l'ensemble  $K^i$  par l'ensemble des usines utilisant ou fabriquant le produit  $i$ .

On définit par  $C^i$  les usines utilisant le produit  $i$  et donc consommatrices du stock  $i$ .

On définit par  $G^i$  les usines fabriquant le produit  $i$  et donc génératrices de stock  $i$ .

Par définition,  $C^i \cup G^i = K^i$ .

On définit par  $CU^i$  l'ensemble des  $BU_j$  constituées seulement d'usines consommatrices de  $i$ .

Si  $G^i \cap BU_j = \emptyset$  alors  $BU_j \subset CU^i$ .

On définit par  $GU^i$  l'ensemble des  $BU_j$  constituées seulement d'usines génératrices de  $i$ .

Si  $C^i \cap BU_j = \emptyset$  alors  $BU_j \subset GU^i$ .

On définit par  $CGU^i$  l'ensemble des  $BU_j$  constituées d'usines génératrices et d'usines consommatrices de  $i$ .

Si  $G^i \cap BU_j \neq \emptyset$  et  $C^i \cap BU_j \neq \emptyset$  alors  $BU_j \subset CGU^i$ .

On définit par  $BU^i$  l'ensemble des  $BU_j$  dont l'une des usines consomme ou génère le stock  $i$ .

Par définition,  $CU^i \cup GU^i \cup CGU^i = BU^i$ .

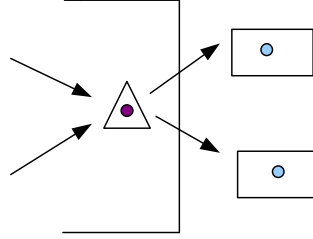
Parmi les  $BU_j \in BU^i$  on définit une  $BU_j$  notée  $BU_j^*$ , à laquelle le stock  $i$  est rattaché.

Les définitions précédentes nous permettent de distinguer les différents types de  $BU_j$  suivant quelles soient composées uniquement d'usines consommatrices, composées uniquement d'usines génératrices ou des deux types. Enfin nous pouvons distinguer celles auxquelles un stock est rattaché.

- $BU_j$  composée d'usines  $k$  toutes consommatrices sans rattachement du stock  $i$  (figure 5-9).

$\forall BU_j \in CU^i$  et  $BU_j \neq BU_j^*$

$$QA_{i,BU_j^*,BU_j,t} = \sum_{k \in BU_j} \sum_{j \in N} a_{ij} Q_{j,k,t} \text{ // les } BU_j \text{ achètent donc à } BU_j^*$$

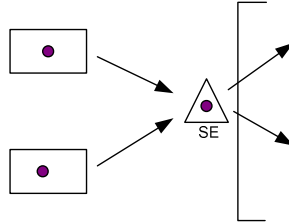


**Figure 5-9. BU consommatrice de stock sans rattachement de ce dernier**

- $BU_j$  composée d'usines k toutes génératrices sans rattachement du stock i (figure 5-10).

$$\forall BU_j \in GU^i \text{ et } BU_j \neq BU_j^*$$

$$QV_{i,BU_j,BU_j^*,t} = \sum_{k \in BU_j} Q_{i,k,t}$$



**Figure 5-10. BU génératrice de stock sans rattachement de ce dernier**

- $BU_j$  composée d'usines k génératrices et consommatrices sans rattachement du stock i.

$$\forall BU_j \in CGU^i \text{ et } BU_j \neq BU_j^*$$

$$QA_{i,BU_j^*,BU_j,t} = \sum_{k \in BU_j} \sum_{j \in N} a_{ij} Q_{j,k,t}$$

$$QV_{i,BU_j,BU_j^*,t} = \sum_{k \in BU_j} \sum_{j \in G^j} Q_{i,k,t}$$

- $BU_j$  composée d'usines k toutes consommatrices avec rattachement du stock i.

$$\forall BU_j \in CU^i \text{ et } BU_j = BU_j^*$$

$$\forall BU_j' \in (GU^i \cup CGU^i),$$

$$QA_{i,BU_j',BU_j^*,t} = \sum_{k \in BU_j'} \sum_{j \in G^i} Q_{i,k,t}$$

- $BU_j$  composée d'usines k toutes génératrices avec rattachement du stock i.

$$\forall BU_j \in GU^i \text{ et } BU_j = BU_j^*$$

$$QV_{i,BU_j^*,BU_j',t} = \sum_{k \in (BU_j' \cup C^i)} \sum_{j \in N} a_{ij} Q_{j,k,t}$$

- $BU_j$  composée d'usines k consommatrices et génératrices avec rattachement du stock i.

$$\forall BU_j \in CGU^i \text{ et } BU_j = BU_j^*$$

$$\forall BU_j' \in CU^i \quad QV_{i,BU_j^*,BU_j',t} = \sum_{k \in (BU_j' \cup C^i)} \sum_{j \in N} a_{ij} Q_{j,k,t}$$

$$\forall BU_j' \in (GU^i \cup CGU^i), QA_{i,BU_j',BU_j^*,t} = \sum_{k \in BU_j'} \sum_{j \in G^i} Q_{i,k,t}$$



Nous présentons ci-dessous l'illustration d'un cas.

**Illustration 1 (figure 5-11).**

$$K = \{U_1, U_2, U_3, U_4\}$$

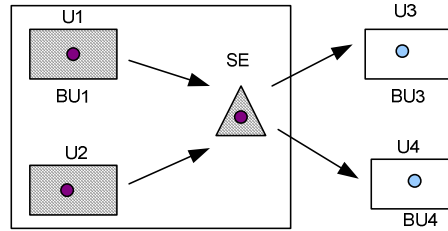
$$K^i = \{U_1, U_2, U_3, U_4\}$$

$$BU_1 = \{U_1, U_2\}, BU_3 = \{U_3\} \text{ et } BU_4 = \{U_4\}$$

$$BU_1 = BU_1^*$$

$$C^i = \{U_1, U_2\} \text{ et } G^i = \{U_3, U_4\}$$

$$GU^i = \{BU_1\}, CU^i = \{BU_3, BU_4\} \text{ et } CGU^i = \emptyset$$



**Figure 5-11. Rattachement du stock à la BU génératrice de stock**

Dans ce cas,

$$QV_{i,BU1^*,BU3,t} = Q_{i',U3,t}$$

$$QV_{i,BU1^*,BU4,t} = Q_{i',U4,t}$$

$$QA_{i,BU3,BU1^*,t} = Q_{i',U3,t}$$

$$QA_{i,BU4,BU1^*,t} = Q_{i',U4,t}$$

#### 2.2.2.2. Règles de passage entre flux physiques et flux financiers (hypothèse B)

Nous proposons dans cette section une formalisation des variables financières en fonction des variables physiques de stock suivant l'hypothèse B. Celle-ci consiste à affecter le stock soit à l'ensemble des BU génératrices, soit à l'ensemble des BU consommatrices du stock. Nous proposons alors d'estimer les quantités vendues ou achetées par chaque BU par une évaluation moyenne pondérée de la composition originelle du stock.

Nous désirons rattacher le stock aux  $BU_j \in (GU^i)$

Pour simplifier l'écriture du modèle suivant, nous prenons comme convention d'écriture :

- $QV_{i,BUj,t}$  : représente les quantités vendues de produit i par la  $BU_j$
- $QV_{i,BUj,BUj',t}$  : représente les quantités vendues de produit i par la  $BU_j$  à la  $BU_{j'}$ .

On définit alors pour chaque  $BU_j \in (GU^i \cup CGU^i)$ , un ratio  $RF_{i,BUj,t}$  représentant le ratio de produits i stockés provenant de  $BU_j$  jusqu'à la période t. On nomme  $TF_{i,BUj,t}$  une variable intermédiaire représentant la quantité en stock avant la consommation des ventes de produit provenant de la  $BU_j$ . On nomme  $I_{i,BUj,t}$  une variable représentant la quantité en stock de produit provenant de la  $BU_j$ . On définit également un ratio  $RT_{i,BUj,t}$  représentant le ratio de produits i stockés achetés par la  $BU_j$  jusqu'à la période t.

Si  $CGU^i = \emptyset$

On définit pour chaque  $BU_j \in GU^i$

$$RF_{i,BU_j,t} = \frac{T_{i,BU_j,t}}{T_{i,t}} \text{ avec } T_{i,BU_j,t} = I_{i,BU_j,t-1} + Q_{i,BU_j,t}$$

$$I_{i,BU_j,t} = I_{i,BU_j,t-1} + \sum_{k \in BU_j} Q_{i,k,t} - QV_{i,BU_j,t-1}$$

$$T_{i,t} = I_{i,t-1} + \sum_{k \in GU^i} Q_{i,k,t}$$

$$I_{i,t} = I_{i,t-1} + \sum_{k \in GU^i} Q_{i,k,t} - \sum_{BU_j \in GU^i} QV_{i,BU_j,t-1}$$

Dans ce cas, la quantité vendue de produit  $i$  vendue par la  $BU_j$  à la période  $t$  est donnée par :

$$\forall BU_j \in GU^i, \forall BU_k \in CU^i \quad QV_{i,BU_j,BU_k,t} = RF_{i,BU_j,t} \times Q_{i,BU_k,t}$$

$$QA_{i,BU_j,BU_k,t} = RF_{i,BU_j,t} \times Q_{i,BU_k,t}$$

Si  $CGU^i \neq \emptyset$  // présence d'usines consommatrices et génératrices

On définit pour chaque  $BU_j \in (GU^i \cup CGU^i)$

$$RF_{i,BU_j,t} = \frac{T_{i,BU_j,t}}{T_{i,t}} \text{ avec } T_{i,BU_j,t} = I_{i,BU_j,t-1} + Q_{i,BU_j,t}$$

$$I_{i,BU_j,t} = I_{i,BU_j,t-1} + Q_{i,BU_j,t} - QV_{i,BU_j,t-1}$$

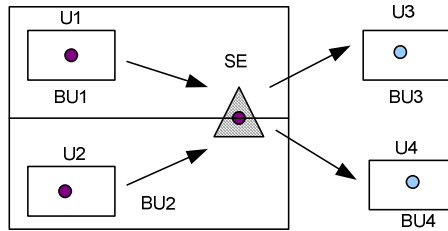
$$T_{i,t} = I_{i,t-1} + \sum_{k \in GU^i} Q_{i,k,t}$$

$$I_{i,t} = I_{i,t-1} + \sum_{k \in (GU^i \cup CGU^i) \setminus G^i} Q_{i,k,t} - \sum_{BU_j \in (GU^i \cup CGU^i)} QV_{i,BU_j,t-1}$$

Dans ce cas, la quantité vendue de produit  $i$  vendue par la  $BU_j$  à la période  $t$  est donnée par :

$$\forall BU_j \in GU^i, \forall BU_k \in CU^i \quad QV_{i,BU_j,BU_k,t} = RF_{i,BU_j,t} \times \sum_{k \in BU_k} \sum_{j \in N} a_{ij} Q_{j,k,t}$$

$$QA_{i,BU_j,BU_k,t} = RF_{i,BU_j,t} \times \sum_{k \in BU_k} \sum_{j \in N} a_{ij} Q_{j,k,t}$$



**Figure 5-12. Rattachement du stock aux BU génératrices de stock**

La figure 5-12 représente l'affectation d'un stock entre quatre BU telle que

$$K = \{U_1, U_2, U_3, U_4\}$$

$$K^i = \{U_1, U_2, U_3, U_4\}$$

$$BU_1 = \{U_1\}, BU_2 = \{U_2\}, BU_3 = \{U_3\} \text{ et } BU_4 = \{U_4\}$$

$$BU_1 BU_2 = BU_1 * BU_2 *$$

$$C^i = \{U_1, U_2\} \text{ et } G^i = \{U_3, U_4\}$$

$$GU^i = \{BU_1, BU_2\}, CU^i = \{BU_3, BU_4\} \text{ et } CGU^i = \emptyset$$

$$QV_{i,BU1,BU3,t} = RF_{i,BU1,t} \times Q_{i,U3,t}$$

$$QV_{i,BU1,BU4,t} = RF_{i,BU1,t} \times Q_{i,U4,t}$$

$$QV_{i,BU2,BU4,t} = RF_{i,BU2,t} \times Q_{i,U4,t}$$

$$QV_{i,BU2,BU3,t} = RF_{i,BU2,t} \times Q_{i,U3,t}$$

### 2.2.2.3. Synthèse

Les affectations précédemment proposées suivant les deux hypothèses A et B permettent d'exprimer les variables financières en fonction des variables physiques suivant différentes affectations des stocks aux BU. Sur un horizon moyen terme, les affectations données permettent de prendre une majorité de cas. Si aucune des précédentes affectations ne permettent de prendre en compte les quantités vendues et achetées par BU, le modèle proposé au chapitre 3 doit être modifié pour prendre en compte des stocks différents pour chaque BU.

## 3. UN PROGRAMME LINEAIRE POUR L'OPTIMISATION DU CASH FLOW D'UNE CHAÎNE LOGISTIQUE

### 3.1. FONCTION OBJECTIF OPTIMISANT LE CASH FLOW GLOBAL

La prise en compte des aspects financiers au sein du processus de planification tactique d'une chaîne logistique consiste à déterminer la planification tactique générant le cash flow maximal pour l'ensemble de la chaîne logistique. Compte tenu des règles de passage entre variables financières et physiques présentées dans la section précédente, nous proposons d'adjoindre au modèle de planification tactique présenté au chapitre 3 une fonction objectif permettant l'optimisation du cash flow généré par la chaîne logistique.

Au chapitre 4, le cash flow global d'une chaîne logistique a été défini comme la somme globale des cash flow de chaque BU. En reprenant les notations exprimées au début de ce chapitre, nous rappelons que :

$$CF_{BU_j,t} = \sum_{i \in I} (QV_{i,BU_j,t-h} \times PV_{i,BU_j,t-h}) - \sum_{BU_j \in B} \sum_{i \in I} (QA_{i,BU_j,BU_j,t-g} \times PA_{i,BU_j,BU_j,t-g}) \\ - \sum_{z \in Z'} \left( \sum_{i \in I} \sum_{k \in BU_i} Q_{i,k,t-g} Cd_{i,k,t-g,z} + \sum_{a \in A} \sum_{k \in BU_i} Cid_{k,t-g,a,z} IC_{k,t-g,a} \right)$$

Nous proposons ici de simplifier la formalisation du cash flow global en soulignant qu'au sein d'une même chaîne logistique, les flux financiers (achats et ventes) se compensent entre BU et ne génèrent donc pas de cash flow global (figure 5-13).

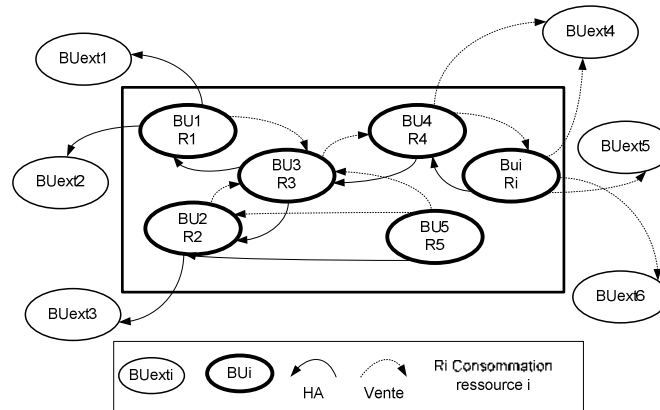


Figure 5-13. Modélisation des flux financiers entre BU

En effet, en considérant :

$PA_{i,BU_j',BU_j,t} = PV_{i,BU_j',t}$  avec  $BU_j$  et  $BU_j'$  appartenant à la chaîne logistique considérée,

$QA_{i,BU_j',BU_j,t} = QV_{i,BU_j',BU_j,t}$  avec  $BU_j$  et  $BU_j'$  appartenant à la chaîne logistique considérée.

Nous en déduisons donc que  $PA_{i,BU_j',BU_j,t} \times QA_{i,BU_j',BU_j,t} = PV_{i,BU_j',t} \times QV_{i,BU_j',BU_j,t}$  pour  $BU_j$  et  $BU_j'$  appartenant à la chaîne logistique considérée.

### 3.2.FORMALISATION MATHÉMATIQUE DU CASH FLOW GLOBAL D'UNE CHAÎNE LOGISTIQUE

En considérant  $B$  l'ensemble des BU appartenant à une même chaîne logistique et  $B_{ext}$  l'ensemble des BU externes à la chaîne logistique considérée, nous proposons d'exprimer le cash flow global d'une chaîne logistique de la manière suivante (figure 5-14).

$CF_{total} = \text{Somme des ventes externes} - \text{Somme des achats externes} - \text{Somme des consommations de ressources}$

Ou encore

$$CF_{Total} = \sum_{BU_j \in B} \sum_{BU_j' \in B_{ext}} \sum_{i \in I} (QV_{i,BU_j',BU_j,t-h} \times PV_{i,BU_j,t-h}) - \sum_{BU_j \in B} \sum_{BU_j' \in B_{ext}} \sum_{i \in I} (QA_{i,BU_j',BU_j,t-g} \times PA_{i,BU_j',BU_j,t-g}) \\ - \sum_{z \in Z} \sum_{BU_j \in B} \sum_{k \in BU_j} \left( \sum_{i \in I} Q_{i,k,t-g} Cd_{i,k,t-g,z} + \sum_{a \in A} Cid_{k,t-g,a,z} IC_{k,t-g,a} \right)$$

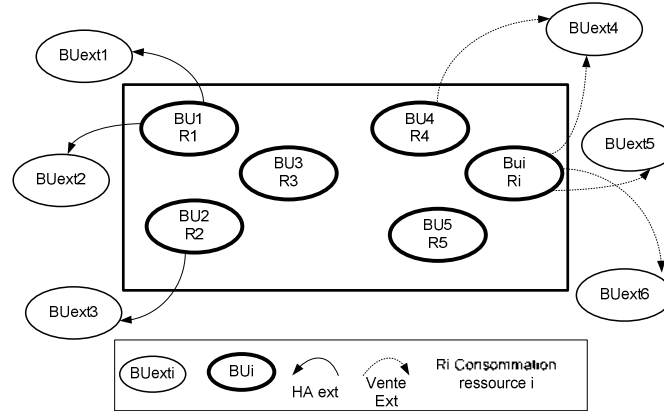


Figure 5-14. Modélisation des flux financiers entre BU génératrices de cash flow

Pour aboutir à un modèle de planification tactique permettant l'optimisation globale des cash flow, il est alors nécessaire de lier les variables  $QV_{i,BU_j,BU_j',t}$ ,  $QA_{i,BU_j,BU_j',t}$ ,  $Q_{i,k,t,z}$  et  $IC_{k,t,a,q}$ . Pour cela, nous utilisons les règles de passage présentées à la section précédente (figure 5-15).

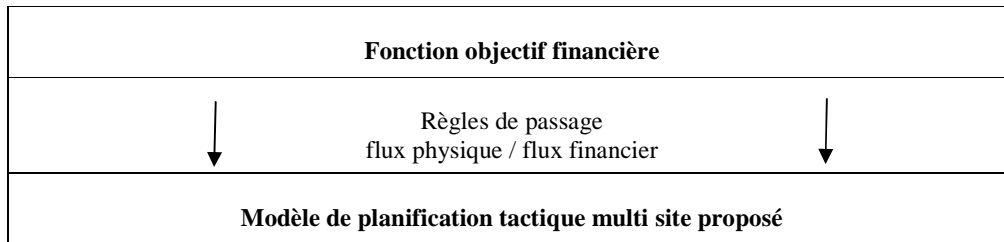


Figure 5-15. Adjonction de la fonction objectif financière au modèle de planification tactique multi site proposé

## 4. UN CHAINAGE DE PROGRAMMES LINEAIRES POUR L'OPTIMISATION ET LE PARTAGE DES CASH FLOW

### 4.1. INTRODUCTION

Un modèle de planification tactique assurant l'optimisation globale des cash flow pour une chaîne logistique a été proposé dans la section précédente.

Pour chaque  $BU_j$ , nous rappelons que le cash flow d'une business unit  $BU_j$  s'exprime de la manière suivante :

$$CF_{BU_j,t} = \sum_{i \in I} (QV_{i,BU_j,t-h} \times PV_{i,BU_j,t-h}) - \sum_{BU_j \in B} \sum_{i \in I} (QA_{i,BU_j,BU_j,t-g} \times PA_{i,BU_j,BU_j,t-g}) \\ - \sum_{z \in Z} \left( \sum_{i \in I} \sum_{k \in BU_i} Q_{i,k,t-g} Cd_{i,k,t-g,z} + \sum_{a \in A} \sum_{k \in BU_i} Cid_{k,t-g,a,z} IC_{k,t-g,a} \right)$$

où  $QV_{i,BU_j,t}$  et  $QA_{i,BU_j,BU_j',q}$  sont déterminées grâce aux règles d'affectation présentées précédemment.

Nous avons montré que l'optimisation du cash flow global est partiellement indépendante du cash flow dégagé par chaque BU. En effet, le cash flow global dépend des quantités fabriquées sur chaque usine mais ne dépend pas des flux financiers échangés entre deux BU appartenant à la même chaîne logistique. Ceci signifie que l'optimisation du cash flow global de la chaîne logistique ne fixe pas le cash flow de chaque BU. En effet, même si au terme de l'optimisation du cash flow global, les quantités de ressources consommées, de produits achetés  $QA_{i,BU_j,BU_j',t}$  et vendus  $QV_{i,BU_j,t}$  sont fixées pour chaque  $BU_j$ , le cash flow de chaque  $BU_j$ , lui, n'est pas fixé puisque les prix de cession interne entre chaque  $BU_j$  eux ont été fixés arbitrairement. Il est alors possible de modifier le cash flow de chaque  $BU_j$  par une fixation des prix de cession interne.

La fixation des prix de cession interne est donc équivalente à un problème de partage de la valeur au sein de la chaîne logistique. En effet, le modèle de planification des flux financiers et physiques détermine une valeur qu'il est nécessaire de répartir parmi les BU de la chaîne logistique. Nous proposons ainsi de chaîner deux modèles mathématiques, le premier définissant par une optimisation le cash flow global la planification des flux physiques et financiers, le second déterminant compte tenu de la planification établie les cash flow de chaque BU par la fixation des prix de cession interne.

### 4.2. CHAINAGE DE MODELES

Nous proposons donc de chaîner deux modèles, le premier nommé modèle A, modèle de planification tactique des flux physiques et financiers et le second nommé modèle B, modèle de partage de la valeur par fixation des prix. La figure 5-16 rappelle les variables et les paramètres principaux du modèle A. Le modèle A fixe une valeur pour le cash flow global en fixant les quantités vendues, achetées et les ressources consommées de chaque BU. Le modèle B a pour but de déterminer le cash flow de chaque BU en fixant les valeurs des prix de cession interne entre chaque BU. Les variables de ce modèle sont donc  $PV_{i,BU_j,BU_j',t}$  et  $PA_{i,BU_j,BU_j',t}$  où  $BU_j$  et  $BU_j'$  appartiennent à la chaîne logistique considérée.

### 4.3. MODELE MATHEMATIQUE DU PARTAGE DE LA VALEUR

Nous proposons la formalisation mathématique du modèle de partage de la valeur suivante.

Soit N l'ensemble des produits pris en compte par la chaîne logistique.

Soit T l'ensemble des périodes de l'horizon de planification considéré.

Soit B l'ensemble des Business Unit  $BU_j$  appartenant à la chaîne logistique étudiée.

Soit Bext l'ensemble des Business Unit  $BU_j$  n'appartenant pas à la chaîne logistique étudiée.

Soit Z l'ensemble des ressources prises en compte dans chaque usine k de la chaîne logistique étudiée.

Soit A l'ensemble des activités prises en compte dans chaque usine k de la chaîne logistique étudiée.

Considérons d'autre part les paramètres suivants déterminés par le modèle d'optimisation du cash flow global (Modèle A).

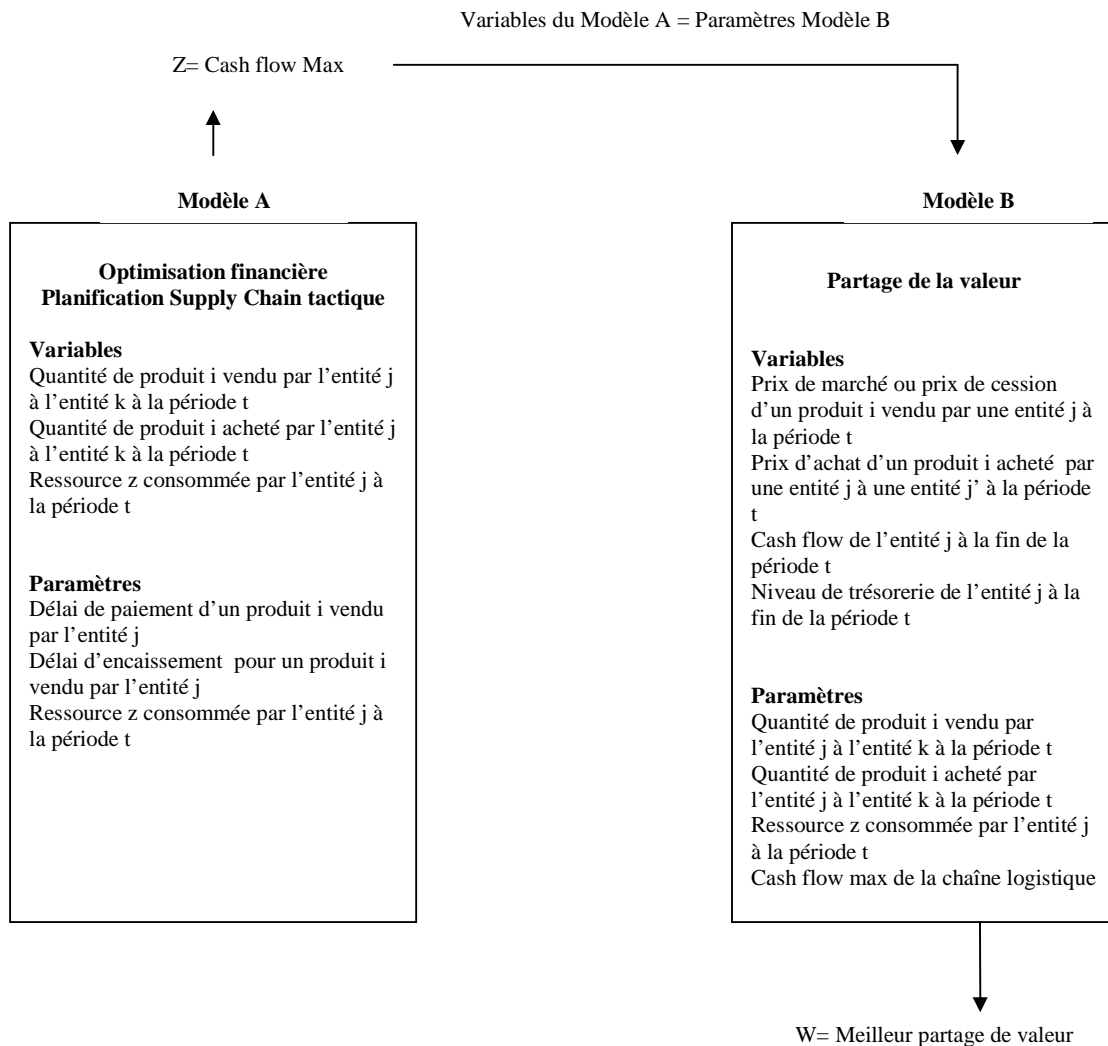


Figure 5-16. Chaînage de modèles : Optimisation et partage de la valeur

Soit  $CF_{max}$  la quantité de cash flow global fixée par le modèle A sur l'horizon de planification T.

Soit  $QA_{i,BU_j',BU_j,t}$  la quantité de produit i achetée à  $BU_j'$  par  $BU_j$  à la période t.

Soit  $QV_{i,BU_j,t}$  la quantité de produit i vendue par  $BU_j$  à la période t.

Soit  $Q_{i,k,t}$  la quantité de produit i fabriqué, vendu ou transporté par l'usine k.

Soit  $Cd_{i,j,t,z}$  les coûts directs engendrés par l'utilisation de la ressource z par l'usine j pour fabriquer le produit à la période t

Soit  $Cid_{j,t,a,z}$  les coûts indirects de la ressource z de l'usine j consommé par l'activité a à la période t.

Soit  $IC_{k,t,a}$  la quantité d'inducteurs de coût de l'activité a à la période t par l'usine k.

Les variables du modèle sont alors :

Soit  $PA_{i,BU_j',BU_j,t}$  le prix d'achat du produit i de la  $BU_j$  à la  $BU_j'$  à la période t.

Soit  $PV_{i,BU_j,t}$  le prix de vente du produit i de la  $BU_j$  à la période t.

$$CF_{BU_j,t} = \sum_{i \in I} (QV_{i,BU_j,t-h} \times PV_{i,BU_j,t-h}) - \sum_{BU_j' \in B} \sum_{i \in I} (QA_{i,BU_j',BU_j,t-g} \times PA_{i,BU_j',BU_j,t-g}) \\ - \sum_{z \in Z} \left( \sum_{i \in I} \sum_{k \in BU_i} Q_{i,k,t-g} Cd_{i,k,t-g,z} + \sum_{a \in A} \sum_{k \in BU_i} Cid_{k,t-g,a,z} IC_{k,t-g,a} \right)$$

Le lien entre les modèles A et B est caractérisé par la contrainte suivante qui exprime l'invariance du cash flow global :

$$\sum_{BU_j \in B} \sum_{t \in T} CF_{BU_j,t} = CF_{Max}$$

A cette dernière s'ajoute des contraintes financières données ci-dessous.

- Contraintes de « non vente à perte ».

La fixation des prix de cession interne est libre et n'est régie par aucune loi. Néanmoins, pour assurer la pertinence de la solution générée, nous supposons que le prix de vente d'une BU pour un produit i doit être supérieur ou égal au prix d'achat de ce produit i par cette BU auquel sont rajoutés les coûts directs.

$$\forall t, i \in T \times I \quad \forall (BU_j, BU_j', BU_j'') \in B^3, PV_{i,BU_j,BU_j'',t} \leq PA_{i,BU_j',BU_j,t} + Cd_{i,BU_j,t}$$

- Contraintes d'homogénéisation des prix.

$$\forall t, i \in T \times I \quad \forall (BU_j, BU_j') \in B^2,$$

$$X_{i,BU_j} \times PV_{i,BU_j,t} \leq \alpha \times PV_{i,BU_j',t} + M \times y_{BU_j,BU_j'}$$

$$X_{i,BU_j'} \times PV_{i,BU_j',t} \leq \alpha \times PV_{i,BU_j,t} + M \times (1 - y_{BU_j,BU_j'})$$

Avec  $X_{i,BU_j}$  variable binaire =1 si i est fabriqué par une usine de  $BU_j$ .

Et  $y_{BU_j,BU_j'}$  variable binaire de désactivation de contrainte.

- Contraintes de trésorerie minimum.

Nous proposons d'ajouter à ce modèle une contrainte de trésorerie minimum pour chaque  $BU_j$  de la chaîne logistique. En effet, au delà de toute considération de partage de la valeur dégagée au sein de la chaîne logistique, la contrainte primordiale est d'assurer qu'aucune  $BU_j$  n'atteigne un niveau de cessation de paiement au cours d'une période de l'horizon.

$$\forall BU_j, t, i \in B \times T \times I, CP_{BU_j,t} \leq CPM_{BU_j}$$

avec  $\forall BU_j, t, i \in B \times T \times I$   $CP_{Bu_j,t} = CP_{Bu_j,t-1} + CF_{Bu_j,t}$

- Fonctions objectif.

Optimiser le partage de la valeur n'a en soit pas réellement de sens. En effet, le partage de la valeur peut être assuré de différentes manières et de façon équitable ou non. Nous proposons dans la figure 5-17 plusieurs fonctions objectif traduisant plusieurs partages de la valeur. On nomme  $w$  la variable à optimiser.

	Fonction objectif	Formalisation mathématique
<b>Partage de la valeur équitable</b>	Maximisation de la trésorerie la plus faible à chaque période	$\begin{aligned} &\text{Max } w \\ &\forall BU_j, t \in B \times T, w \leq CP_{Bu_j,t} \end{aligned}$
	Maximisation de la trésorerie la plus faible à la dernière période	$\begin{aligned} &\text{Max } w \\ &\forall BU_j \in B, w \leq CP_{Bu_j,T} \end{aligned}$
	Minimisation de l'écart entre la trésorerie la plus faible et la plus importante à chaque période	$\begin{aligned} &\text{Min } w \\ &\forall BU_j, BU_{j'} \in B^2 \quad w \geq (CP_{Bu_j,t} - CP_{Bu_{j'},t}) \end{aligned}$
	Minimisation de l'écart de flux financier généré par deux BUj entre le plus faible et le plus important au terme de l'horizon	$\begin{aligned} &\text{Min } w \\ &\forall BU_j, BU_{j'} \in B^2 \quad w \geq (\sum_{t \in T} CF_{Bu_j,t} - \sum_{t \in T} CF_{Bu_{j'},t}) \end{aligned}$
<b>Partage de la valeur privilégiant une BUj</b>	Maximisation de la trésorerie de BUj* à chaque période	$\begin{aligned} &\text{Max } w \\ &\forall t \in B \quad w = CP_{Bu_{j^*},t} \end{aligned}$
	Maximisation de la trésorerie de BUj à la dernière période	$\begin{aligned} &\text{Max } w \\ &w = CP_{Bu_{j^*},T} \end{aligned}$
	...	...

**Figure 5-17. Fonctions objectif pour le modèle de partage de la valeur**

Cette section propose donc un modèle de partage de la valeur par affectation des prix de cession interne entre les BU d'une même chaîne logistique.

## 5. APPLICATION DES OUTILS PROPOSES SUR UN CAS D'ETUDE

### 5.1. DESCRIPTION DU CAS D'ETUDE

L'objectif de ce cas d'étude est de proposer dans un premier temps un modèle de planification tactique permettant la génération du cash flow d'une chaîne logistique puis dans un second temps le partage de la valeur. Pour cela, nous considérons le cas d'étude présenté au chapitre 3 en y adjoignant les données concernant les aspects financiers.

Nous considérons donc une chaîne logistique fabriquant et assurant la livraison de plusieurs produits. Dans ce cas d'étude, nous considérons 6 produits P1, P2, P3, P4, P5 et P6. La chaîne logistique est constituée de 6 usines U1, U2, U3, U4, U5 et U6 fabriquant des produits à nomenclature linéaire. Nous considérons que la chaîne logistique est constituée de six BU notées BU1, BU2, BU3, BU4, BU5 et BU6. Par ailleurs nous considérons que ces BU sont regroupées au sein de firmes externes nommées A, B et M.

La firme A est composée des BU1 et BU2, la firme B des BU3 et BU4 et la firme M des BU5 et BU6. Cette décomposition en plusieurs firmes a pour objectif de présenter une analyse agrégée et donc faciliter la compréhension des cash flow et des cash positions au niveau de la chaîne logistique. Le cash flow d'une firme est simplement la somme des cash flow des BU la composant. Au sein d'une même firme, des achats et des ventes sont réalisables de la même manière qu'entre BU de firmes externes. Nous adoptons donc une approche



centralisée pour l'ensemble de la chaîne logistique en supposant que les firmes ont nommé un supply chain manager chargé de proposer une planification tactique à l'ensemble des firmes constituées.

Nous rappelons la définition de ces produits et leur allocation aux usines.

Nous considérons l'ensemble  $N_f$  de produits finis  $\{P1 \dots P6\}$ , chaque produit fini est obtenu par la transformation successive de demi produits spécifiques à chaque produit fini. Nous considérons 4 niveaux de nomenclature. Pour  $P_i \in N_f$ , nous notons les demi produits  $P_{i0}, P_{i1}, P_{i2}, P_{i3}$  avec  $P_{i0}=P_i$ . La matrice gozinto  $A_{ij}$  (déterminant le nombre de produits  $i$  nécessaire pour obtenir un produit  $j$ ) est donc la suivante (figure 5-18) :

$$A = \begin{pmatrix} & P_{10} & P_{11} & P_{12} & P_{13} & \dots & P_{60} & P_{61} & P_{62} & P_{63} & \dots & P_{60} & P_{61} & P_{62} & P_{63} \\ P_{10} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{11} & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{12} & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{13} & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{60} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{61} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{62} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{63} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{60} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{61} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 & 0 \\ P_{62} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 & 0 \\ P_{63} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Figure 5-18. Matrice gozinto

L'affectation des produits aux usines est déterminée par l'ensemble  $N(i)$  qui définit les usines fabriquant le produit  $i$ .

$$\forall i \in N_f, N(i_0) = \{U6\}$$

$$N(i_1) = \{U5\}$$

$$N(i_2) = \{U2, U3, U4\}$$

$$N(i_3) = \{U1\}$$

## 5.2. AFFECTATION DES STOCKS

Il a été justifié la nécessité d'affecter ou non à chaque BU la charge du stockage des produits pour identifier dans un modèle de planification tactique les quantités vendues et achetées. Nous considérons similairement au cas d'étude du chapitre 3 un stock pour chaque demi produit. L'ensemble de ces stocks peut être regroupé en 4 zones de stockages équivalents à 4 entrepôts. L'affectation des stocks à une BU s'explique par la nécessité d'affecter la charge liée à la désynchronisation des usines à l'une ou l'autre des BU.

L'affectation de ces entrepôts est la suivante (figure 5-19) :

- La BU1 est composée de l'usine U1 et du stockage des produits  $P_{i3}$ .
- La BU2 est composée de l'usine U2.
- La BU3 est composée de l'usine U3.
- La BU4 est composée de l'usine U4.
- La BU5 est composée de l'usine U5 et du stockage des produits  $P_{i2}$ .
- La BU6 est composée de l'usine U6 et des stockages des produits  $P_{i1}$  et  $P_{i0}$ .

Nous considérons un ensemble de BU externes à la chaîne logistique étudiée composé d'une unique BU externe client notée BUC1 et d'une unique BU fournisseur notée BUF1.

## 5.3. CONTRAINTES FINANCIERES

Compte tenu de la problématique et l'horizon de planification, nous considérons les mêmes ressources, les mêmes activités et inducteurs de coûts que ceux exprimés dans le cas d'étude du chapitre 5. Les tableaux 5-2 et 5-3 rappellent l'ensemble de ces données et leurs liens.

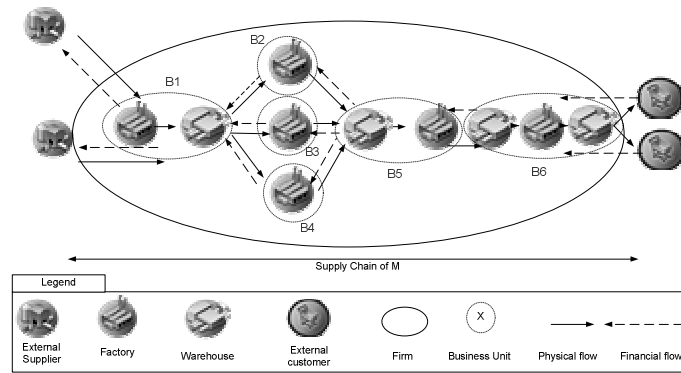


Figure 5-19. Synoptique de la chaîne logistique considérée

Ressources (Z)	Activités (A)	Inducteurs de coûts (IC)
Salaires	Approvisionner	Nombre de fournisseurs
Energie	Planifier	Nombre de campagnes
Consommables	Livrer	Nombre de produits vendus
		Nombre de produits stockés
		Euro de MP achetés

Tableau 5-2. Ressources, activités et inducteurs de coûts considérés

	Approvisionner	Planifier	Livrer
	A1	A2	A3
U1	Euro de MP acheté	Nbre de campagnes	Nbre de produits stockés en fin de période
U2	x	Nbre de campagnes	Nbre de produits vendus
U3	x	Nbre de campagnes	Nbre de produits vendus
U4	x	Nbre de campagnes	Nbre de produits vendus
U5	Nbre de fournisseurs utilisés	Nbre de campagnes	x
U6	Quantité en stock final	Nbre de campagnes	Quantité de produits vendus

Tableau 5-3. Inducteurs de coûts considérés par usine et activité

#### 5.4. MODELES D'OPTIMISATION DES FLUX FINANCIERS

Nous présentons dans cette section le modèle de planification optimisant les cash flow générés par la chaîne logistique. Ce modèle est identique à celui présenté au chapitre 3, la seule modification consiste en l'ajout d'une fonction objectif traduisant les cash flow et des contraintes explicitant les variables financières.

$$\begin{aligned}
 & \text{Minimiser } \sum_{t=1}^T CF_{total,t} \\
 & CF_{total,t} = V - HA - CD - CID \\
 & V = \sum_{i \in Nf} (DS_{i0,BUC1,t-h} \times PV_{i0,BUC1,t-h}) \\
 & HA = \sum_{i \in Nf} (QA_{i0,BUF1,BU1,t-h} \times PA_{i0,BUF1,BU1,t-h}) \\
 & \text{où :} \\
 & HA = \sum_{i \in Nf} (Q_{i0,U1,t-h} \times PA_{i0,BUF1,BU1,t-h}) \\
 & CD = \sum_{z \in Z} (cd_{i3,U1,t-g,z} \times Q_{i3,U1,t-g,z} + cd_{i2,U2,t-g,z} \times Q_{i2,U2,t-g,z} + cd_{i2,U3,t-g,z} \times Q_{i2,U3,t-g,z} + cd_{i2,U4,t-g,z} \times Q_{i2,U4,t-g,z} \\
 & \quad + cd_{i1,U5,t-g,z} \times Q_{i1,U5,t-g,z} + cd_{i0,U6,t-g,z} \times Q_{i0,U6,t-g,z}) \\
 & CID = \sum_{z \in Z} \sum_{a \in A} (Cid_{U1,t-g,z,a} \times IC_{U1,t-g,a} + Cid_{U2,t-g,z,a} \times IC_{U2,t-g,a} + Cid_{U3,t-g,z,a} \times IC_{U3,t-g,a} \\
 & \quad + Cid_{U4,t-g,z,a} \times IC_{U4,t-g,a} + Cid_{U5,t-g,z,a} \times IC_{U5,t-g,a} + Cid_{U6,t-g,z,a} \times IC_{U6,t-g,a}) \\
 & D_{i0,t} = DS_{i0,t} + DP_{i0,t} \quad \forall i, t \in [1, Nf] \times [1, T] \\
 & I_{i3,t+1} = I_{i3,t} + Q_{i3,U1,t+1-l(i,U1)} - (Q_{i2,U2,t+1} + Q_{i2,U3,t+1} + Q_{i2,U4,t+1}) \quad \forall (i,t) \in [1, Nf] \times [0, T-1] \\
 & I_{i2,t+1} = I_{i2,t} + Q_{i2,U2,t+1} + Q_{i2,U3,t+1} + Q_{i2,U4,t+1} - Q_{i1,U5,t+1} \quad \forall (i,t) \in [1, Nf] \times [0, T-1] \\
 & I_{i1,t+1} = I_{i1,t} + Q_{i1,U5,t+1} - Q_{i0,U6,t+1} \quad \forall (i,t) \in [1, Nf] \times [0, T-1] \\
 & I_{i0,t+1} = I_{i0,t} + Q_{i0,U6,t+1} - DS_{i0,t+1} \quad \forall (i,t) \in [1, Nf] \times [0, T-1] \\
 & \begin{cases} Q_{ikt} \leq C_{kt} \times X_{ikt} & \forall (i,t) \in [1, N] \times [1, T], \\ Q_{ikt} \geq X_{ikt} & \forall k \in N(i) \end{cases} \\
 & \sum_{i=1}^N Q_{ikt} \leq C_{kt} \quad \forall t \in [1, T], \forall k \in N(i) \\
 & Q_{i2,U2,t+1} + Q_{i2,U3,t+1} + Q_{i2,U4,t+1} \leq I_{i3,t} \quad \forall (i,t) \in [1, Nf] \times [1, T] \\
 & Q_{i1,U5,t+1} \leq I_{i2,t} \quad \forall (i,t) \in [1, Nf] \times [1, T] \\
 & Q_{i0,U6,t+1} \leq I_{i1,t} \quad \forall (i,t) \in [1, Nf] \times [1, T] \\
 & DS_{i0,t+1} \leq I_{i0,t} \quad \forall (i,t) \in [1, Nf] \times [1, T] \\
 & Y_{i3,t} = I_{i3,t} - (Q_{i2,U2,t+1} + Q_{i2,U3,t+1} + Q_{i2,U4,t+1}) \\
 & \forall (i,t) \in [1, Nf] \times [0, T-1] \\
 & Y_{i2,t} = I_{i2,t} - Q_{i1,U5,t+1} \quad \forall (i,t) \in [1, Nf] \times [0, T-1] \\
 & Y_{i1,t} = I_{i1,t} - Q_{i0,U6,t+1} \quad (14) \quad \forall (i,t) \in [1, Nf] \times [0, T-1] \\
 & Y_{i0,t} = I_{i0,t} - DS_{i0,t+1} \quad \forall (i,t) \in [1, Nf] \times [0, T-1] \\
 & \begin{cases} I_{ikt} \leq M \times W_{ikt} & \forall (i,t) \in [1, N] \times [1, T], \\ I_{ikt} \geq W_{ikt} & \forall k \in N(i) \end{cases} \\
 & \begin{cases} \sum_{i=1}^{Nf} QV_{i,k,BU5,t} \leq M \times T_{k,BU5,t} & \forall (t) \in [1, T], \\ \sum_{i=1}^{Nf} QV_{i,k,BU5,t} \geq T_{k,BU5,t} & \forall k \in N(i) \end{cases}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
IC_{U1,t,a1} &= \sum_{i=1}^{Nf} QA_{i,BUF1,U1,t-h} \times PA_{i,BUF1,U1,t-h} \quad \forall t \in [0, T-1] \\
IC_{k,t,a2} &= \sum_{i=1}^{Nf} X_{i,k,t} \quad \forall k, t \in [1, N(i)] \times [0, T-1] \\
IC_{k,t,a3} &= \sum_{i=1}^{Nf} X_{i,k,t} \quad \forall k, t \in [1, N(i)] \times [0, T-1] \\
IC_{U1,t,a1} &= \sum_{i=1}^{Nf} W_{i,U1,t} \quad \forall t \in [0, T-1] \\
IC_{U5,t,a1} &= \sum_{k=1}^X T_{k,U5,t} \quad \forall t \in [0, T-1] \\
IC_{U1,t,a3} &= \sum_{i=1}^{Nf} QV_{i,U6,BUC1,t-h} \quad \forall t \in [0, T-1] \\
X_{ijt} &\in \{0,1\} \quad \forall (i,t) \in [1, N] \times [1, T], \quad \forall j \in N(k), \quad \forall k \in [1, P] \\
W_{ijt} &\in \{0,1\} \quad \forall (i,t) \in [1, N] \times [1, T], \quad \forall j \in N(k), \quad \forall k \in [1, P] \\
T_{ikk't} &\in \{0,1\} \quad \forall (i,t) \in [1, N] \times [1, T], \quad \forall j \in N(k), \quad \forall k \in [1, P] \quad \forall k' \in [1, P] \\
Q_{ikt} &\geq 0 \quad \forall (i,t) \in [1, N] \times [1, T], \quad \forall k \in N(i) \\
Y_{it}, I_{it} &\geq 0 \quad \forall (i,t) \in [1, N] \times [1, T] \\
DS_{it}, DP_{it} &\geq 0 \quad \forall (i,t) \in [1, N] \times [1, T]
\end{aligned}$$

### 5.5. MODELES DE PARTAGE DE LA VALEUR

Nous présentons dans cette section l'instanciation du modèle B de partage de la valeur. Le but de ce modèle est de définir les cash flow et les cash positions de chaque BU à partir des prix de cession et en tenant compte du plan tactique élaboré par le modèle précédent.

Le tableau 5-4 liste l'ensemble des variables fixées par le modèle mathématique A :

Soit  $Q_{i,k,t}$  la quantité de produit  $i$  fabriquée par l'usine  $k$  à la période  $t$ .

Soit  $Rf_{BUj,t} = \sum_{z \in Z} \left( \sum_{i \in I} \sum_{k \in BU_j} Q_{i,k,t-g} Cd_{i,k,t-g,z} + \sum_{a \in A} \sum_{k \in BU_j} Cid_{k,t-g,a,z} IC_{k,t-g,a} \right)$  la quantité de ressources consommées

par  $BU_j$  à la période  $t$ .

Soit  $Cd_{i,BUj,t}$  le coût moyen du produit par  $BU_j$  à la période  $t$ .

Soit  $CF_{\max}$  le cash flow maximum dégagé par la chaîne logistique.

Variables fixées par le modèle A			
Quantités produites	Ressources consommées	Coût direct des produits	Cash flow total déterminé
$Q_{i,U1,t}$	$Rf_{BU1,t}$	$Cd_{i,BU1,t}$	$CF_{\max}$
$Q_{i,U2,t}$	$Rf_{BU2,t}$	$Cd_{i,BU2,t}$	
$Q_{i,U3,t}$	$Rf_{BU3,t}$	$Cd_{i,BU3,t}$	
$Q_{i,U4,t}$	$Rf_{BU4,t}$	$Cd_{i,BU4,t}$	
$Q_{i,U5,t}$	$Rf_{BU5,t}$	$Cd_{i,BU5,t}$	
$Q_{i,U6,t}$	$Rf_{BU6,t}$	$Cd_{i,BU6,t}$	

Tableau 5-4. Variables fixées par le modèle A

D'après les règles d'affectation présentées précédemment, nous exprimons les variables financières en fonction des variables physiques (tableau 5-5).

Correspondances variables physiques et financières			
Quantités achetées	Quantités produites	Quantités vendues	Quantités produites
$QA_{i,BU1,BU2,t} =$	$Q_{i,U2,t}$	$QV_{i,BU1,t} =$	$Q_{i,U2,t} + Q_{i,U3,t} + Q_{i,U4,t}$
$QA_{i,BU1,BU3,t} =$	$Q_{i,U3,t}$	$QV_{i,BU2,t} =$	$Q_{i,U2,t}$
$QA_{i,BU1,BU4,t} =$	$Q_{i,U4,t}$	$QV_{i,BU3,t} =$	$Q_{i,U3,t}$
$QA_{i,BU2,BU5,t} =$	$Q_{i,U5,t}$	$QV_{i,BU4,t} =$	$Q_{i,U4,t}$
$QA_{i,BU3,BU5,t} =$	$Q_{i,U5,t}$	$QV_{i,BU5,t} =$	$Q_{i,U5,t}$
$QA_{i,BU4,BU5,t} =$	$Q_{i,U5,t}$	$QV_{i,BUC1,BU6,t} =$	$Q_{i,U6,t}$
$QA_{i,BUF1,BU1,t} =$	$Q_{i,U1,t}$		

**Tableau 5-5. Correspondances entre variables physiques et financières**

Les variables du modèle A deviennent les données du modèle B. Le tableau 5-6 rappelle que les quantités achetées, vendues, la quantité de ressources consommées, le coût direct des produits ainsi que le cash flow global ont été déterminés par le modèle A et deviennent donc des données pour le modèle B.

Variables fixées par le modèle A → Données du modèle B				
Quantités achetées	Quantités vendues	Ressources consommées	Coût direct des produits	Cash flow total déterminé
$QA_{i,BU1,BU2,t}$	$QV_{i,BU1,t}$	$R_{BU1,t} = Rf_{BU1,t}$	$Cd_{i,BU1,t}$	$CF_{\max}$
$QA_{i,BU1,BU3,t}$	$QV_{i,BU2,t}$	$R_{BU2,t} = Rf_{BU2,t}$	$Cd_{i,BU2,t}$	
$QA_{i,BU1,BU4,t}$	$QV_{i,BU3,t}$	$R_{BU3,t} = Rf_{BU3,t}$	$Cd_{i,BU3,t}$	
$QA_{i,BU2,BU5,t}$	$QV_{i,BU4,t}$	$R_{BU4,t} = Rf_{BU4,t}$	$Cd_{i,BU4,t}$	
$QA_{i,BU3,BU5,t}$	$QV_{i,BU5,t}$	$R_{BU5,t} = Rf_{BU5,t}$	$Cd_{i,BU5,t}$	
$QA_{i,BU4,BU5,t}$	$QV_{i,BUC1,BU6,t}$	$R_{BU6,t} = Rf_{BU6,t}$	$Cd_{i,BU6,t}$	
$QA_{i,BUF1,BU1,t}$				

**Tableau 5-6. Données du modèle B**

Les variables du modèle B sont listées dans le tableau 5-7 et sont alors les prix de cession entre les BU de la chaîne logistique étudiée, c'est-à-dire les prix d'achat et de vente.

Variables du modèle B	
Prix d'achat	Prix de vente
$PA_{i,BU1,BU2,t}$	$PV_{i,BU1,t}$
$PA_{i,BU1,BU3,t}$	$PV_{i,BU2,t}$
$PA_{i,BU1,BU4,t}$	$PV_{i,BU3,t}$

$PA_{i,BU2,BU5,t}$	$PV_{i,BU4,t}$
$PA_{i,BU3,BU5,t}$	$PV_{i,BU5,t}$
$PA_{i,BU4,BU5,t}$	
$PA_{i,BU5,BU6,t}$	

**Tableau 5-7. Variables du modèle B.**

Pour chaque BUj, nous rappelons l'expression de la valeur du cash flow qu'elle a généré :

$$\begin{aligned}
 CF_{BU1,t} &= \sum_{i \in I} (PV_{BU1,i3,t-h} \times (QV_{BU1,BU2,i3,t-h} + QV_{BU1,BU3,i3,t-h} + QV_{BU1,BU4,i3,t-h})) \\
 &\quad - \sum_{i \in I} QA_{BUC1,BU1,i4,t-g} \times PA_{BUC1,BU1,i4,t-g} - Rf_{BU1,t-g} \\
 CF_{BU2,t} &= \sum_{i \in Nf} (PV_{BU2,i2,t-h} \times QV_{BU2,i2,t-h}) - \sum_{i \in Nf} (PA_{BU1,BU2,i3,t-h} \times QA_{BU1,BU2,i3,t-h}) - Rf_{BU2,t-g} \\
 CF_{BU3,t} &= \sum_{i \in Nf} (PV_{BU3,i2,t-h} \times QV_{BU3,i2,t-h}) - \sum_{i \in Nf} (PA_{BU1,BU3,i3,t-h} \times QA_{BU1,BU3,i3,t-h}) - Rf_{BU3,t-g} \\
 CF_{BU4,t} &= \sum_{i \in Nf} (PV_{BU4,i2,t-h} \times QV_{BU4,i2,t-h}) - \sum_{i \in Nf} (PA_{BU1,BU4,i3,t-h} \times QA_{BU1,BU4,i3,t-h}) - Rf_{BU4,t-g} \\
 CF_{BU5,t} &= \sum_{i \in Nf} (PV_{BU5,i1,t-h} \times QV_{BU5,i1,t-h}) \\
 &\quad - \sum_{i \in Nf} (PA_{BU5,BU2,i2,t-h} \times QA_{BU5,BU2,i2,t-h} + PA_{BU5,BU3,i2,t-h} \times QA_{BU5,BU3,i2,t-h} + PA_{BU5,BU4,i2,t-h} \times QA_{BU5,BU4,i2,t-h}) - Rf_{BU5,t-g} \\
 CF_{BU6,t} &= \sum_{i \in Nf} (PV_{BU6,BUC1,i0,t-h} \times QV_{BU6,BUC1,i0,t-h}) - \sum_{i \in Nf} (PA_{BU6,BU5,i1,t-h} \times QA_{BU6,BU5,i1,t-h}) - Rf_{BU6,t-g}
 \end{aligned}$$

La contrainte du cash flow total est la suivante :

$$CF_{\max} = \sum_{t \in T} CF_{total,t} = \sum_{t \in T} (CF_{BU1,t} + CF_{BU2,t} + CF_{BU3,t} + CF_{BU4,t} + CF_{BU5,t} + CF_{BU6,t})$$

$$\forall (t,i) \in T \times I \quad \forall (BU_j, BU_j', BU_j'') \in B^3, PV_{i,BUj,BUj',t} \leq PA_{i,BUj',BUj',t} + Cd_{i,BUj,t}$$

La contrainte des prix de vente s'exprime de la manière suivante :

$$\begin{aligned}
 PV_{i,BU1,t} &\leq PA_{i,BU1,BU1,t} + Cd_{i,BU1,t} \\
 PV_{i,BU2,t} &\leq PA_{i,BU1,BU2,t} + Cd_{i,BU2,t} \\
 PV_{i,BU3,t} &\leq PA_{i,BU1,BU3,t} + Cd_{i,BU3,t} \\
 PV_{i,BU4,t} &\leq PA_{i,BU1,BU4,t} + Cd_{i,BU4,t} \\
 PV_{i,BU5,t} &\leq PA_{i,BU2,BU5,t} + Cd_{i,BU5,t} \\
 PV_{i,BU5,t} &\leq PA_{i,BU3,BU5,t} + Cd_{i,BU5,t} \\
 PV_{i,BU5,t} &\leq PA_{i,BU4,BU5,t} + Cd_{i,BU5,t} \\
 PV_{i,BU6,t} &\leq PA_{i,BU5,BU6,t} + Cd_{i,BU6,t}
 \end{aligned}$$

La contrainte d'homogénéisation des prix de vente est la suivante :

$$\begin{aligned}
 PV_{i,BU2,t} &\leq \alpha \times PV_{i,BU3,t} + M \times y_{BU2,BU3} & \forall BU_j, t, i \in B \times T \times I, CP_{BUj,t} \leq CPM_{BUj} \\
 PV_{i,BU3,t} &\leq \alpha \times PV_{i,BU2,t} + M \times (1 - y_{BU2,BU3}) & CP_{BU1,t} \leq CPM_{BU1} \\
 PV_{i,BU2,t} &\leq \alpha \times PV_{i,BU4,t} + M \times y_{BU2,BU4} & CP_{BU2,t} \leq CPM_{BU2} \\
 PV_{i,BU4,t} &\leq \alpha \times PV_{i,BU2,t} + M \times (1 - y_{BU2,BU4}) & CP_{BU3,t} \leq CPM_{BU3} \\
 PV_{i,BU3,t} &\leq \alpha \times PV_{i,BU4,t} + M \times y_{BU3,BU4} & CP_{BU4,t} \leq CPM_{BU4} \\
 PV_{i,BU4,t} &\leq \alpha \times PV_{i,BU3,t} + M \times (1 - y_{BU3,BU4}) & CP_{BU5,t} \leq CPM_{BU5} \\
 & & CP_{BU1,t} \leq CPM_{BU1}
 \end{aligned}$$

En rappelant que

$$\forall BU_j, t, i \in B \times T \times I \quad CP_{BUj,t} = CP_{BUj,t-1} + CF_{BUj,t}$$

Concernant la fonction objectif, nous instancions aisément l'ensemble des fonctions objectif présentées précédemment. Nous donnons dans le tableau 5-8 un exemple d'instanciation de la fonction objectif « Maximisation de la trésorerie la plus faible à chaque période ».

	Fonction objectif	Formalisation mathématique
Partage de la valeur équitable	Maximisation de la trésorerie la plus faible à chaque période	$\begin{aligned} & \text{Max } w \\ & \forall t \in T, \\ & w \leq CP_{BU1,t} \\ & w \leq CP_{BU2,t} \\ & w \leq CP_{BU3,t} \\ & w \leq CP_{BU4,t} \\ & w \leq CP_{BU5,t} \\ & w \leq CP_{BU6,t} \end{aligned}$

**Tableau 5-8. Instanciation de la fonction objectif**  
« Maximisation de la trésorerie la plus faible à chaque période »

## 5.6. EXPLOITATION DES RESULTATS

Dans cette section, nous présentons dans un premier temps une comparaison des plans tactiques obtenus par une optimisation des critères physiques et par une optimisation des critères financiers. L'objectif de cette partie est d'illustrer l'intérêt d'une optimisation des flux financiers en montrant l'impact de cette dernière sur les flux physiques. Dans un second temps, nous mettons en œuvre le chaînage de modèles et illustrons le partage de la valeur à travers la fixation des prix de cession.

### 5.6.1. COMPARAISON OPTIMISATION FLUX PHYSIQUES VS FLUX FINANCIERS

Dans cette section, nous avons comparé les résultats obtenus par le modèle mathématique optimisant les flux physiques à celui optimisant les flux financiers. Pour cela, nous avons considéré des instances de taille moyenne en ce qui concerne le nombre de produits (de 2 à 6) et le nombre de périodes (16). Ces instances ont été générées aléatoirement en s'assurant d'une certaine homogénéité entre critères physiques et critères financiers.

Nous avons utilisé la métaheuristique ISKA présenté au chapitre 3 pour la génération des résultats. Le tableau 5-9 donne pour chaque instance, les valeurs des fonctions objectif physiques et financières pour chaque modèle ainsi que les différences et les écarts en pourcentages entre ces valeurs. Les résultats présentés ont été obtenus après 1 million d'itérations.

Ces résultats nous montrent l'intérêt d'une optimisation des critères financiers. En effet, dans une majorité des cas, optimiser les flux financiers correspond à dégrader le critère physique d'une manière plus ou moins importante. De plus, pour certaines instances, à critère physique très voisin, il est possible de constater une augmentation importante du cash flow généré. Ces résultats prouvent qu'optimiser les flux physiques ne se traduit donc pas forcément par une optimisation des flux financiers et donc qu'il est tout à fait pertinent de ne pas limiter l'optimisation des planifications des chaînes logistiques aux seuls critères physiques.

### 5.6.2. PARTAGE DE LA VALEUR

Dans cette section, nous présentons les résultats obtenus grâce aux chaînages des deux modèles. L'objectif est d'illustrer que la fixation des prix de cession est un moyen efficace pour les managers de chaînes logistiques de partager la valeur au sein de la chaîne logistique.

Nous présentons dans un premier temps les plans tactiques obtenus par le modèle A au moyen de la demande satisfaite, du TSD et du cash flow généré. Le chaînage des deux modèles ne requiert pas l'obtention d'une solution optimale pour le modèle A. Le partage de la valeur ne nécessite pas que cette dernière soit optimale. Ainsi, nous avons utilisé le solveur Cplex sur des instances de petites tailles pour des raisons de simplicité. Compte tenu de la complexité du modèle A, seules des solutions optimales ont été trouvées pour les instances à 3 produits en moins de dix minutes. Pour les deux autres instances, nous donnons les résultats obtenus après dix minutes de résolution (tableau 5-10).

Nom instance	Optimisation flux physique		Optimisation flux financier		Gain physique	Gain financier	Ecart physique	Ecart financier
	Coûts physique	CashFlow	Coûts physiques	CashFlow				
instance1_CSSupCDP	11 065	18 773 749	12 006	19 332 350	-941	558 601	9%	3%
instance2_CDPSupCS	452 624	19 469 850	452 832	19 470 950	-208	1 100	0%	0%
instance2_CSSupCDP	11 604	18 703 798	11 880	19 332 350	-276	628 552	2%	3%
instance3_CDPSupCS	777 764	4 551 690	780 074	4 551 690	-2 310	0	0%	0%
instance3_CSSupCDP	12 974	3 538 225	13 213	3 550 690	-239	12 465	2%	0%
instance4_CDPSupCS	612 538	6 475 500	613 560	6 475 800	-1 022	300	0%	0%
instance4_CSSupCDP	11 413	32 973 874	13 623	54 631 525	-2 210	21 657 651	19%	66%
instance5_CDPSupCS	542 880	8 436 630	543 286	8 436 630	-406	0	0%	0%
instance5_CSSupCDP	11 927	80 637 279	12 574	84 486 630	-647	3 849 351	5%	5%
instance8	2 169 730	22 746 700	2 169 760	26 796 250	-30	4 049 550	0%	18%
instance9	2 169 730	22 746 700	2 169 790	26 798 050	-60	4 051 350	0%	18%
instance10	285 980	25 011 570	526 900	26 798 500	-240 920	1 786 930	84%	7%
instance11	251 715	23 970 805	393 540	26 795 950	-141 825	2 825 145	56%	12%

Tableau 5-9. Optimisation des flux physiques vs optimisation des flux financiers



Instance	Nombre de périodes	Nombres d'objets	Demande	Demande satisfaite	Totale demande satisfaite	Best cash flow satisfaite
1	16	3	720	540	75%	11260
2	16	6	1440	1050	73%	44810
3	31	3	1710	1419	83%	27356
4	31	6	3420	2832	83%	96049

**Tableau 5-10. Résultats obtenus par le modèle A**

Nous focalisons par la suite sur l'instance n°4. Nous rappelons que les résultats du modèle A pour cette instance sont les quantités achetées et vendues entre BU, les quantités de ressources consommées par BU et le cash flow global de la chaîne logistique par période. Pour des raisons de lisibilité, nous ne les présentons pas. Le tableau 5-11 présente les prix de cession établis initialement par des experts en contrôle de gestion. Ces derniers permettent d'estimer ce que seraient les cash flow et les cash positions de chaque firme sans le module de partage de la valeur.

Item	PVi,1,2	PVi,1,3	PVi,1,4	PVi,2,5	PVi,3,5	PVi,4,5	PVi,5,6
1	6	6	6	14	14	14	30
2	8	8	8	18	18	18	38
3	10	10	10	22	22	22	46
4	11	11	11	24	24	24	50
5	13	13	13	28	28	28	58
6	15	15	15	32	32	32	66

**Tableau 5-11. Prix de cession établis initialement**

Nous présentons les résultats obtenus par le modèle B. Deux fonctions objectif ont été testées. La première, nommée Z1, a pour but d'assurer la maximisation de la plus faible trésorerie à la fin de l'horizon. La seconde, nommée Z2, a pour but de minimiser la différence de trésorerie entre la plus faible et la plus grande trésorerie à la fin de l'horizon.

Les tableaux 5-12 et 5-13 donnent les prix de cession générés respectivement pour la fonction objectif Z1 et Z2.

Item	PVi,1,2	PVi,1,3	PVi,1,4	PVi,2,5	PVi,3,5	PVi,4,5	PVi,5,6
1	5	5	5	12	12	12	80
2	12	12	11	30	30	27	55
3	9	10	10	22	25	25	46
4	20	20	22	50	50	55	75
5	28	26	26	70	65	65	92
6	34	30	30	85	75	75	108

**Tableau 5-12. Prix de cession générés par Z1**

Item	PVi,1,2	PVi,1,3	PVi,1,4	PVi,2,5	PVi,3,5	PVi,4,5	PVi,5,6
1	6	6	6	15	15	15	36
2	8	8	8	20	20	20	48
3	8	8	8	20	20	20	40
4	18	16	18	45	40	45	75
5	26	24	22	65	60	55	93
6	30	30	32	75	75	80	103

**Tableau 5-13. Prix de cession générés par Z2**

Nous présentons par la suite l'évolution des cash positions pour les trois firmes A, B et M suivant les prix de cession initiaux, ceux générés à partir de Z1 et enfin ceux générés à partir de Z2 (figures 5-20, 5-21 et 5-22).

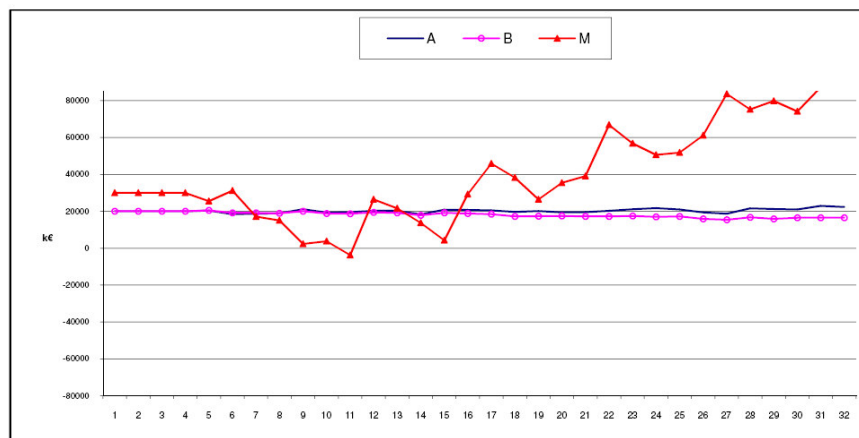


Figure 5-20. Cash position obtenu par les prix de cession initiaux

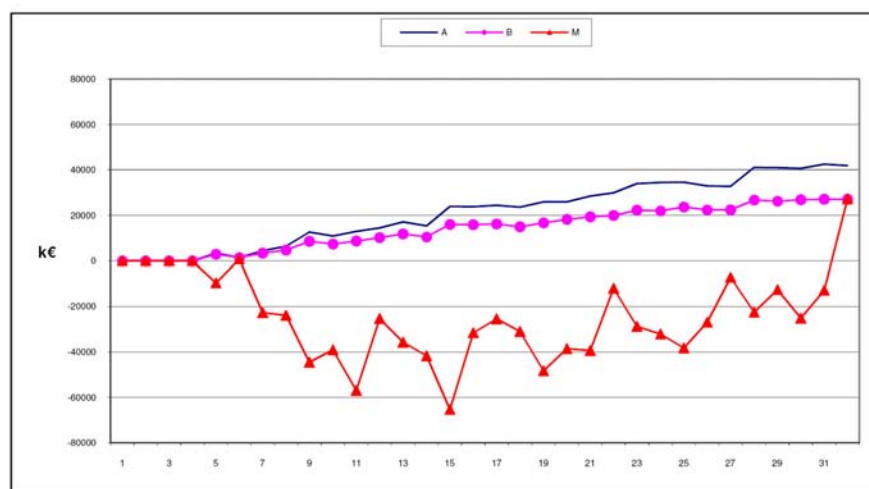


Figure 5-21. Cash position obtenu par les prix de cession générés par Z1

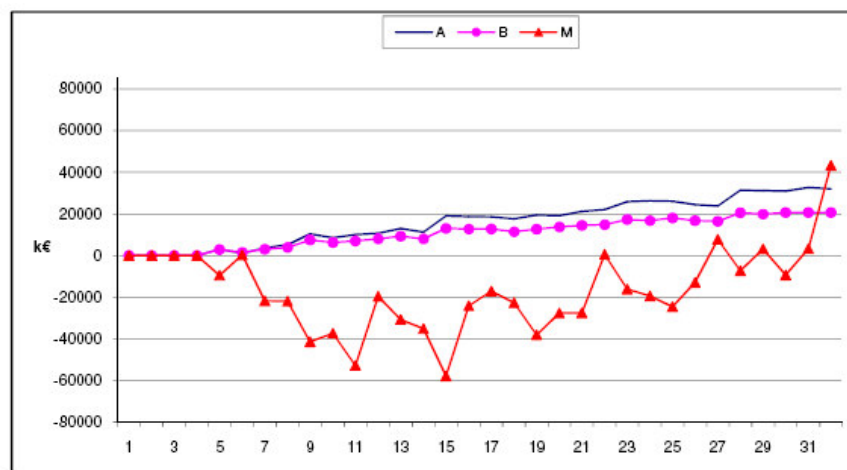


Figure 5-22. Cash position obtenu par les prix de cession générés par Z2

Le tableau 5-14 donne les valeurs des cash positions à la dernière période pour chaque firme et même chaque BU. La plus faible trésorerie (Z1) et le plus grand écart entre les cash positions finaux (Z2) sont donnés par le tableau 5-15.

	Firme A			Firme B			Firme C		
	BU1	BU2	BU3	BU1	BU2	BU3	BU1	BU2	BU3
<b>EXP</b>	4 448	-2 150	2 298	-1 493	-2 010	-3 503	17 523	79 731	97 254
<b>Z1</b>	28 373	13 495	41 868	13 515	13 502	27 017	14 396	13 668	27 164
<b>Z2</b>	21 784	10 296	32 080	10 312	10 347	20 659	21 767	21 543	43 310

**Tableau 5-14. Cash position de chaque firme à la dernière période**

	Plus faible cash position final (Z1)	Plus grand écart entre les cash positions finaux (Z2)
<b>Exp</b>	-3 503	103 055
<b>Z1</b>	27 017	14 851
<b>Z2</b>	20 659	11 421

**Tableau 5-15. Résultats Z1 et Z2**

Ces résultats montrent la possibilité de modifier le partage de la valeur au sein d'une chaîne logistique par le mécanisme de fixation des prix de cession. La résolution par deux fonctions objectif différentes permet pour Z1 d'augmenter la plus faible trésorerie à la fin de l'horizon de -3503 euros à 27 017 euros et pour Z2 de diminuer l'écart entre les trésoreries de 103 055 euros à 11 421 euros. Ces modifications de trésorerie sont obtenues sans modifier les plans de production, ce qui assure que le cash flow global de la chaîne logistique demeure identique. Par ailleurs, il est important de souligner que les prix de cession influencent les trésoreries sur l'ensemble de l'horizon. L'analyse des figures 5-20, 5-21 et 5-22 montre que les prix de cession générés par Z1 et Z2 génèrent pour la firme M une trésorerie très souvent négative qui peut, suivant les cas, amener à une cessation de paiement pour cette firme. Il semble alors nécessaire de rajouter au modèle B des contraintes de cessation de paiement et d'étudier leur impact sur la résolution.

Néanmoins, ces résultats montrent ainsi la réelle pertinence de notre approche sur le partage de la valeur par la fixation des prix de cession. Le panel très large des prix de cession s'offrant aux managers pour partager la valeur au sein d'une chaîne logistique justifie à lui seul le recours à des méthodes d'optimisation ou de simulation.

## 6. CONCLUSION

Ce chapitre se focalise sur l'intégration des critères financiers pour la génération de plans tactiques des chaînes logistiques. La prise en compte des critères financiers au cœur de ce type de modèle est réalisé tout d'abord par l'adjonction d'une fonction objective modélisant le cash flow global dégagé par une chaîne logistique. Celle-ci consiste à adapter le modèle d'évaluation PREVA présenté au chapitre 4 au modèle de planification présenté au chapitre 3. Ce chapitre montre alors la nécessité d'étudier finement la traduction des variables financières aux variables physiques. Des règles de passage entre ces deux types de variables sont présentées rendant générique la fonction objectif et les contraintes financières proposées. Un modèle de planification des chaînes logistiques permettant l'optimisation du cash flow dégagé est ainsi défini.

Les méthodes d'optimisation présentées au chapitre 3 sont ensuite appliquées au modèle de planification basé sur l'optimisation du flux financier. Une comparaison par rapport au modèle optimisant le flux physique confirme l'intérêt de l'optimisation du flux financier pressentie au chapitre 4. En effet, l'optimisation des flux financiers permet de définir des plans tactiques dégagant une valeur financière plus importante pour des valeurs de flux physique équivalentes.

La seconde partie de ce chapitre se focalise sur le partage de la valeur au sein d'une chaîne logistique. En effet après avoir étudié l'optimisation de la valeur générée par la planification d'une chaîne logistique, il est nécessaire d'étudier la répartition de cette dernière à travers ces entités. Ce chapitre montre qu'il est possible de

partager la valeur dégagée de différentes manières grâce à la fixation des prix de cession au cœur de la chaîne logistique. Un modèle mathématique de fixation des prix de cession est ainsi présenté. L'étude de ce dernier sur des instances de petites tailles conclut en la pertinence de notre approche.

## **CHAPITRE 6 : MODELISATION ET SIMULATION D'UN SYSTEME DE GESTION DE STOCK A DEMANDE DIFFERENCIEE**

<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>163</b>
<b>2. MODELE DE CONNAISSANCE .....</b>	<b>163</b>
2.1. RAPPEL DU CAS D'ETUDE.....	163
2.2. MODELE DE CONNAISSANCE SYSTEMIQUE .....	164
2.3. MODELISATION DES PROCESSUS LOGISTIQUES.....	166
<b>3. SPECIFICATION DES PROCESSUS LOGISTIQUES.....</b>	<b>167</b>
3.1. SPECIFICATION DU PROCESSUS SATISFACTION CLIENT .....	167
3.2. SPECIFICATION DU PROCESSUS DE COMMANDES DES MAGASINS AUX USINES.....	168
<b>4. SIMULATION DES TROIS MODES DE GESTION DE STOCK .....</b>	<b>173</b>
4.1. ANALYSE SUR LES DONNEES D'ENTREE .....	173
4.2. MODELISATION DE L'ERREUR A LA MAILLE MARCHE ET A LA MAILLE CLIENT.....	175
4.3. CADRE EXPERIMENTAL.....	176
4.4. VALIDATION DU MODELE .....	176
4.5. RESULTATS .....	177
4.6. ETUDE DE L'INFLUENCE DE LA DIFFERENCE ENTRE LES TSD DESIRES.....	180
4.7. SYNTHESE.....	181
<b>5. CONCLUSION.....</b>	<b>181</b>

## 1. INTRODUCTION

Ce chapitre se focalise sur l'étude d'un problème de gestion de stock à demande différenciée au cœur d'une chaîne logistique industrielle. Cette étude émane d'un cas industriel. Schématiquement, la gestion de stock à demande différenciée consiste à fournir un taux de satisfaction client différent pour chaque type de client considéré au niveau de la chaîne logistique. Les chapitres 1 et 2 ont présenté un état de l'art des contributions concernant ce domaine. Ce dernier souligne l'existence de trois solutions assurant une demande différenciée à chaque type de client. Ces trois solutions sont :

- La politique de stock commun qui consiste à considérer un stock unique dimensionné sur le taux de satisfaction client le plus important.
- La politique de stocks dédiés qui consiste à considérer un stock par type de client de telle façon que chaque stock soit dimensionné en fonction de la satisfaction client désiré.
- La politique de seuil de rationnement qui consiste à considérer un stock unique à tous les clients mais dans lequel sont définis des niveaux de rationnement en dessous duquel le client correspondant à ce niveau n'est plus approvisionné.

La littérature concernant ces trois politiques est faible comparativement aux nombres de contributions traitant des problèmes de gestion de stock. A l'instar des problèmes de planification tactique, la littérature est classifiée suivant les modes de gestion de stock. De ce point de vue-là, aucun travail n'a été publié concernant la prise en compte de demandes différenciées pour un système de gestion de stock basé sur un DRP. C'est dans ce sens que nos travaux se démarquent de ceux de la littérature.

L'objectif de cette étude est donc de simuler sur ce cas d'étude les trois solutions de la littérature de manière à analyser le comportement de ces dernières sur un système basé sur un DRP. Ce chapitre est architecturé de la manière suivante :

- La première section présente un modèle de connaissance systémique de la chaîne logistique ainsi que les processus logistiques majeurs. Ces derniers sont réalisés à partir de diagrammes de classe UML et de l'outil Chaîne Processus Événementiel de la méthodologie de modélisation ARIS.
- La deuxième présente la spécification des processus logistiques pour chaque solution de gestion de stock testée.
- La troisième présente enfin l'étude de simulation en présentant tout d'abord les données d'entrée du modèle, puis en spécifiant comment ont été générées ces dernières. Dans un troisième temps, le cadre expérimental de l'étude de simulation est donné. Enfin après avoir présenté les résultats de validation du modèle, les résultats majeurs sont donnés.

## 2. MODELE DE CONNAISSANCE

### 2.1. RAPPEL DU CAS D'ETUDE

L'entreprise étudiée divise son marché mondial de clients en zones commerciales qui correspondent chacune à un pays ou un regroupement de pays. Chaque zone commerciale comporte un ou plusieurs magasins desservant ses clients. Les magasins sont approvisionnés par des usines. Pour chacune des zones, les clients passent leurs commandes à un centre de service situé dans la zone. Actuellement tous les clients sont servis avec un TSD avoisinant les 80%. L'entité étudiée désire privilégier un client en lui proposant un TSD Client de 95%.

Initialement, l'étude se limitait à la comparaison de deux solutions : celle du stock commun et celles des deux stocks dédiés. Néanmoins, la solution avec seuil de rationnement a également été considérée afin de proposer aux industriels une analyse complète des solutions envisagées dans la littérature.

Notre étude se limite à une des zones commerciales définie de la manière suivante :

- 2 usines
- $N_p$ , le nombre de produits
- 1 magasin physique
- 2 types de clients

La figure 6-1 présente le réseau de distribution. De manière à appréhender les différences de fonctionnement de la chaîne logistique sous les trois modes de gestion du magasin, nous proposons par la suite de modéliser dans un premier temps ce système à l'aide d'un modèle de connaissance systémique généré à partir de la méthodologie ASCI.

## 2.2. MODELE DE CONNAISSANCE SYSTEMIQUE

Nous présentons donc dans un premier temps le modèle systémique de cette chaîne logistique en présentant successivement les sous systèmes physique, logique et décisionnel puis le modèle complet.

### 2.2.1. LE SOUS SYSTEME PHYSIQUE

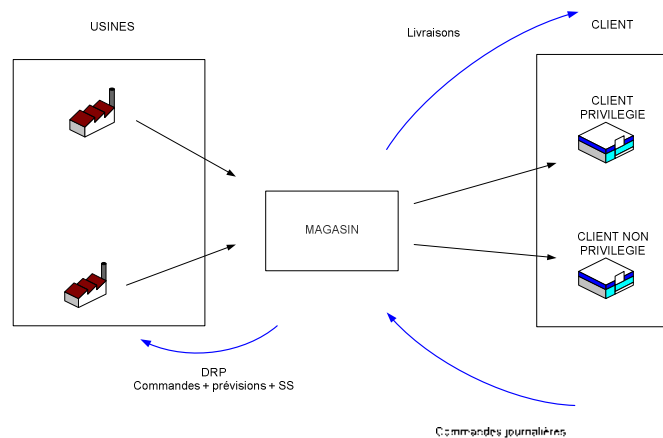
Le sous système physique de cette chaîne logistique de distribution est composé de deux usines, d'un entrepôt de stockage (ou magasin) et de liens de transport permettant de lier ces usines à l'entrepôt de stockage. L'ensemble de ces éléments constitue la BU étudiée (figure 6-2).

### 2.2.2. LE SOUS SYSTEME LOGIQUE

Le sous système logique est composé de commandes clients et de commandes de l'entrepôt aux usines. En effet, les clients passent des commandes au magasin et le magasin passe commande aux usines (figure 6-3).

### 2.2.3. LE SOUS SYSTEME DECISIONNEL

Le sous système décisionnel est composé des contraintes de capacité ainsi que des règles qui permettent de définir la livraison des commandes clients par rapport au stock, les règles de livraison du magasin par les usines ainsi que le module DRP qui permet de définir les quantités commandées par le magasin aux usines (figure 6-4).



**Figure 6-1. Synoptique de la chaîne logistique**

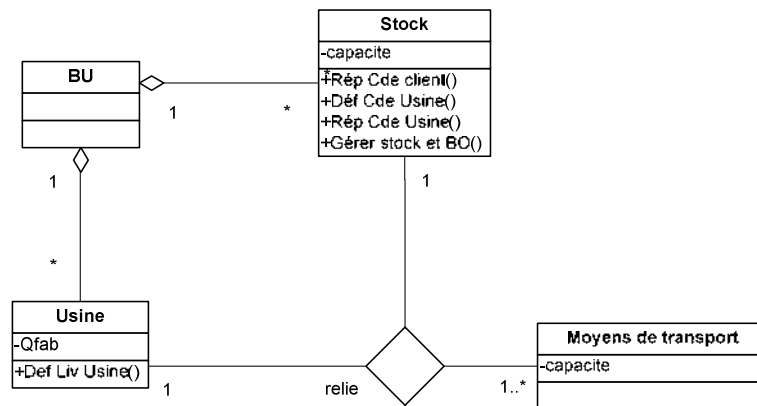


Figure 6-2. Sous système physique de la chaîne logistique considérée

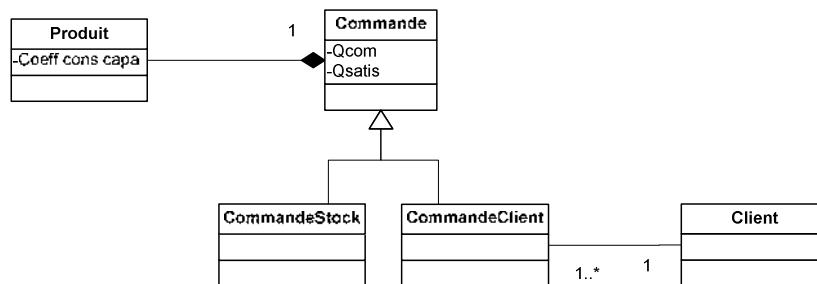


Figure 6-3. Sous système logique de la chaîne logistique considérée

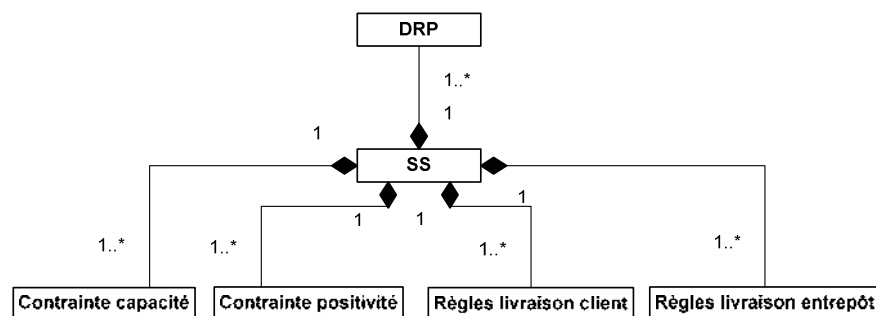


Figure 6-4. Sous système décisionnel de la chaîne logistique considérée



### 2.2.4. MODELE UML DES TROIS SOUS SYSTEMES

Le modèle de connaissance systémique présenté par la figure 6-5 lie entre eux les trois sous systèmes précédents. La lecture de ce modèle nous montre qu'à ce niveau de modélisation, ce dernier est générique pour chaque mode de gestion du magasin.

De plus, son analyse nous montre que le fonctionnement de cette chaîne logistique est basé sur deux processus majeurs que sont :

- la satisfaction de la commande client,
- la génération et la réception de commandes magasins.

Nous nous proposons donc dans la section suivante de détailler ces deux processus majeurs.

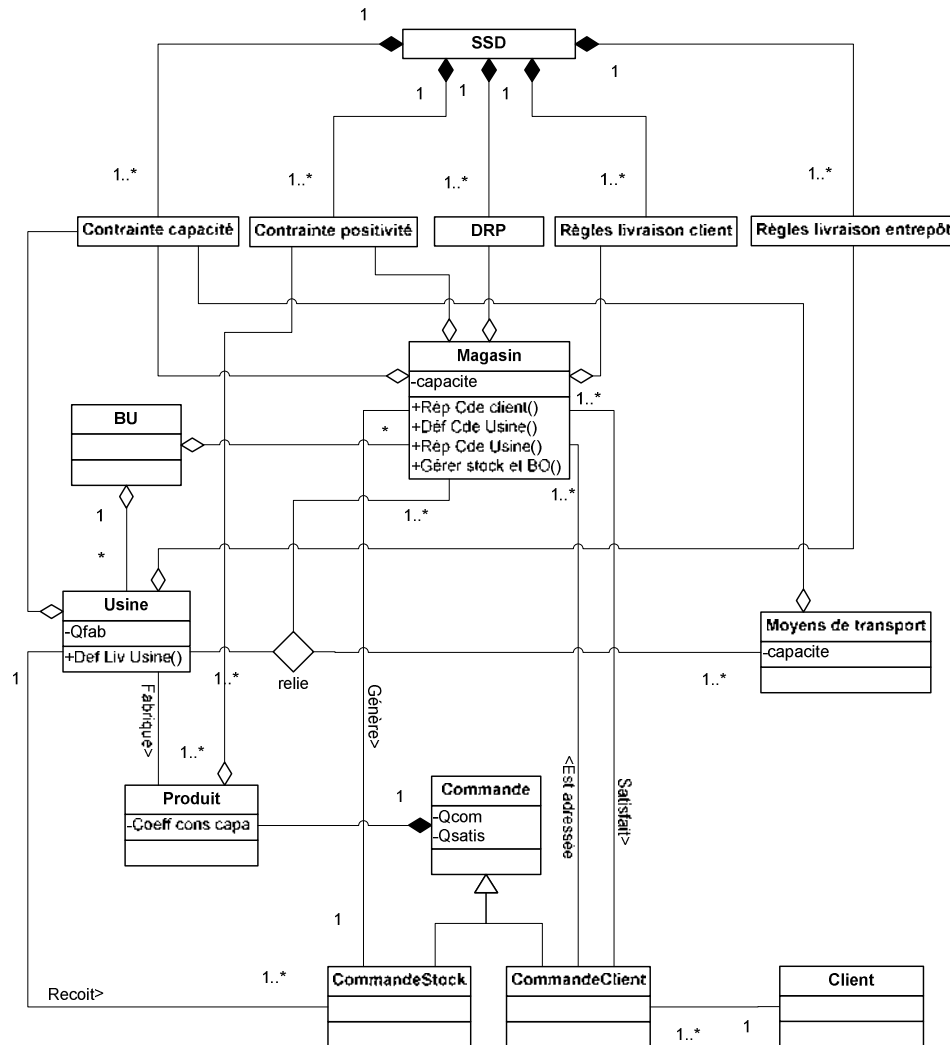


Figure 6-5. Modèle de connaissance UML de la chaîne logistique considérée

### 2.3. MODELISATION DES PROCESSUS LOGISTIQUES

Comme mentionné précédemment, la chaîne logistique étudiée est basée sur deux processus logistiques majeurs :

- le processus de satisfaction client par le magasin,
- le processus de commande des magasins aux usines et de livraison des magasins par les usines.

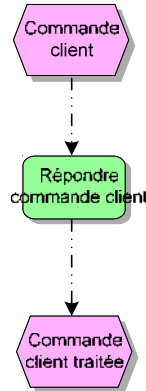
Ces derniers sont générés respectivement par deux événements initiaux :

- la commande d'un client au magasin,
- le déclenchement journalier du DRP.

Le premier processus correspond à la réponse faite aux commandes clients. Il consiste à fournir une réponse aux commandes journalières des clients en fonction des niveaux de stock. Compte tenu de la solution choisie pour la gestion du magasin, cette dernière peut être :

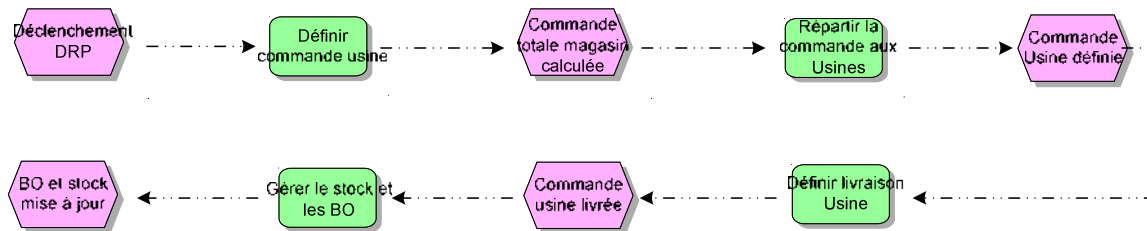
- la satisfaction totale de la commande,
- la satisfaction partielle de la commande, le reste de la commande est alors mise en attente. Nous considérons alors ces commandes comme des backorders.
- aucune satisfaction de la commande. La commande entière est mise en attente (Backorders).

Ce processus peut être modélisé de la façon suivante sous ARIS (figure 6-6).



**Figure 6-6. Processus de satisfaction client**

Le second processus logistique considéré correspond au processus de commande et de livraison des magasins par les usines. Chaque jour, le DRP est lancé afin de définir une quantité de produit à commander aux usines compte tenu de la solution de gestion du magasin choisie, des stocks, des backorders et des prévisions. En fonction de cette commande, les usines livrent une certaine quantité reçue par le magasin après un certain délai de livraison. A la réception de la commande, le magasin traite alors les backorders et met à jour les stocks (figure 6-7).



**Figure 6-7. Processus de commandes des magasins aux usines**

La modélisation des processus donnée dans cette section ne permet pas de présenter les différences entre les trois modes de gestion du magasin. Nous présentons donc dans la section suivante une spécification plus fine de chacun de ces processus logistiques pour chacune des solutions.

### 3. SPECIFICATION DES PROCESSUS LOGISTIQUES

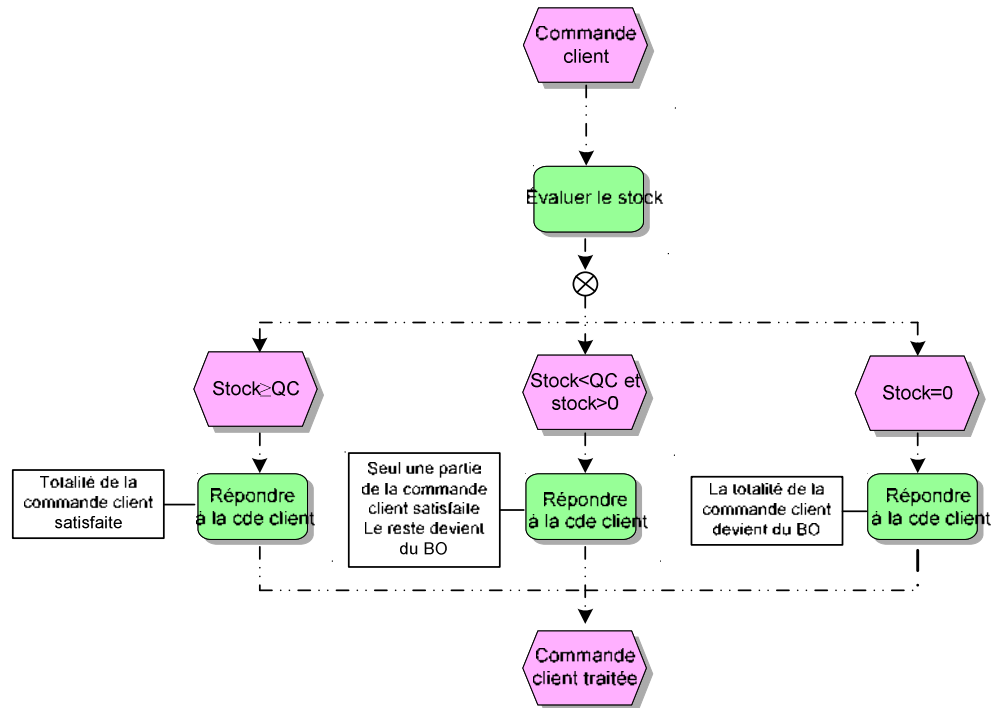
#### 3.1. SPECIFICATION DU PROCESSUS SATISFACTION CLIENT

Le processus satisfaction client est composé principalement de l'activité :

- Répondre à la commande client.

Cette activité est générée par l'événement « commande client » et génère un événement « commande client traitée ». Ce processus est commun aux solutions à stock commun et de stocks dédiés. Pour celles-ci, la réponse à chaque client est effectuée en fonction du niveau de stock.

Ainsi, en considérant une commande client QC, un niveau de stock (Stock) et un nombre de backorders (BO), le processus « Répondre à la commande client » peut donc être modélisé par la figure 6-8.



**Figure 6-8. Processus de réponse à la commande client**  
**Solution du stock commun et des stocks dédiés**

Concernant la solution à seuil de rationnement, la réponse à une commande client est évidemment plus complexe. Cette dernière dépend du niveau de stock, du seuil de rationnement et du type de client. Dans ce cas, deux types de backorders sont distingués nommés BOP et BONP respectivement pour les clients privilégiés et non privilégiés. Nous considérons un seuil de rationnement nommé SR. Dans ce cas, le processus « Répondre à la commande client » peut donc être modélisé par la figure 6-9.

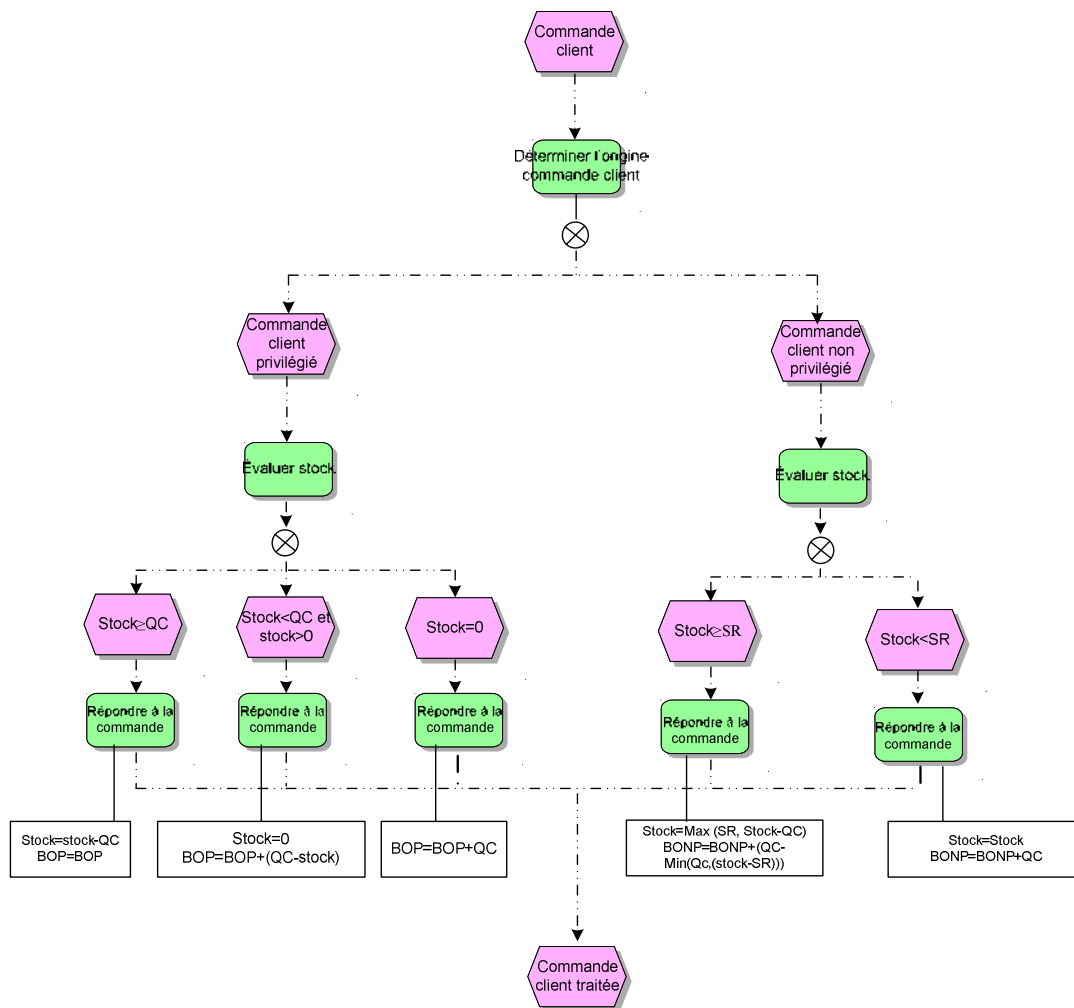
### 3.2. SPECIFICATION DU PROCESSUS DE COMMANDES DES MAGASINS AUX USINES

Le processus de commandes des magasins aux usines est composé des activités :

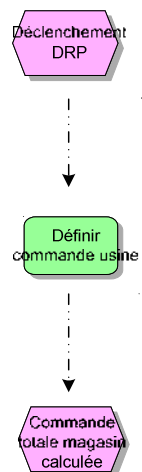
- Définir la commande usine.
- Répartir la commande aux usines.
- Définir la livraison usine.
- Gérer le stock et les BO.

#### 3.2.1. DEFINIR LA COMMANDE USINE

Le processus de définition de la commande usine est commun à l'ensemble des trois solutions et basé sur le fonctionnement d'un DRP (figure 6-10). Concernant la solution des stocks dédiés, un DRP pour chaque stock est considéré. Concernant les solutions du stock commun et par seuil, seul un DRP unique est pris en compte. Concernant le fonctionnement du DRP, celui est similaire à chaque solution. Aucune distinction n'est effectuée au niveau des BO. Une commande est donc lancée lorsque le stock ne permet pas de couvrir le besoin retenu sur le délai de livraison.



**Figure 6-9. Processus de réponse à la commande client**  
**Seuil de rationnement**



**Figure 6-10. Schéma global du DRP**

### 3.2.2. FONCTIONNEMENT DU DRP

Le calcul de la commande générée par le DRP au jour  $j$  est effectué en fonction :

- la prévision de commande à la période  $i$ , notée  $p_i$ ,
- la commande client à la période  $i$ , notée  $v_i$ ,
- le nombre de jours de consommation des prévisions par les commandes, noté  $P$ ,
- le stock de sécurité désiré à la période  $j$ , noté  $SS_j$ ,
- le niveau de stock « on hand » et en transit à la période du jour  $j$ , noté  $S_j$ ,
- le niveau de backorders à la période du jour  $j$ , noté  $Bo_j$ ,
- le lead time de livraison moyen, noté  $l$ .

En fonction du besoin identifié, le DRP va déterminer la quantité commandée par le magasin aux usines.

Le premier élément au niveau d'un DRP est la consommation des prévisions par les commandes. En fonction des commandes émises par la clientèle et des prévisions élaborées, le DRP réajuste ses prévisions sur l'horizon pris en considération. La consommation des prévisions utilisées dans ce cas d'étude est une consommation classique des prévisions basées sur une diminution homogène des prévisions dans le cas de commandes supérieures aux prévisions et n'a pas lieu d'être explicitée plus à même. La consommation des prévisions définit une demande retenue pour chaque période  $i$  que nous notons  $DR_i$ .

Le stock de sécurité (noté  $SS_j$ ), exprimé en jours de couverture est calculé de la manière suivante :

$$SS_j = M * k * \sigma * \sqrt{t}.$$

Avec  $M = E(v_i/p_i)$  et  $\sigma = \sigma(v_i/p_i)$  où  $v$  = ventes et  $p$  = prévisions réalisées sur 12 mois  
 $k$  = facteur de la loi normale.  
 $l$  = lead time usine magasin, en cas de multisourcing le maximum des lead times est considéré.

Le fonctionnement du DRP est donné par l'algorithme de procédure suivante :

---

#### **Algorithme de principe du DRP**

##### **Début**

Soit une période  $j$ , et un horizon de planification  $T$

**Calcul de  $DR_i$   $\forall i \in T$**  . 'On calcule la consommation des prévisions par les commandes

**Calcul de  $SS_j$**  'On calcule pour le jour  $j$  le  $SS_j$  exprimé en nombre de jours

**Calcul du besoin retenu noté  $BR_i$**  'On calcule le besoin retenu pour l'horizon entier

$$BR_j = DR_j + \sum_{i=j}^{SS_j} DR_i + BO_j - S_j \quad \text{'pour le jour } j, \text{ le besoin retenu est égal à la demande retenue + le stock}$$

de sécurité + les commandes en retard – le stock « on hand » ou « en transit »

$$\forall i \in T - \{j\} \quad BR_i = DR_i$$

**Calcul de la commande notée  $Q_j$**

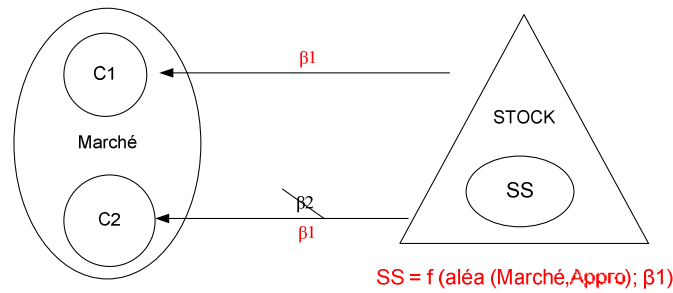
$$Q_j = \sum_{i=j}^{i=j+l} BR_i \quad \text{'On calcule la quantité commandée égale à la somme des BR sur le délai de livraison moyen } l$$

##### **Fin**

---

### 3.2.3. PRISE EN COMPTE DES PREVISIONS ET DES COMMANDES

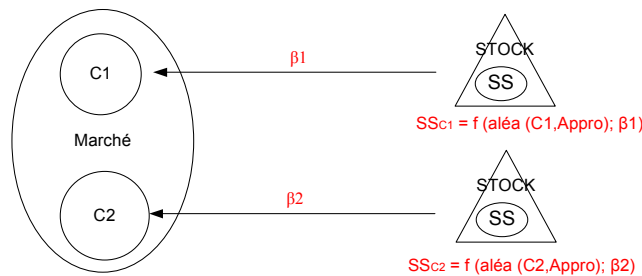
Si le fonctionnement du DRP est identique pour chaque solution, les données prises en compte diffèrent. Les trois solutions que nous étudions se distinguent l'une de l'autre par la granularité des prévisions prises en compte.



**Figure 6-11. Solution du stock commun**

Ainsi, la solution du stock commun (figure 6-11) considère une prévision client exprimée à la maille marché. En effet, le dimensionnement du stock de sécurité est réalisé en fonction d'aléa de la commande à la maille marché puisqu'aucune distinction n'est effectuée entre les clients. Le DRP utilise donc les prévisions et les commandes à la maille marché.

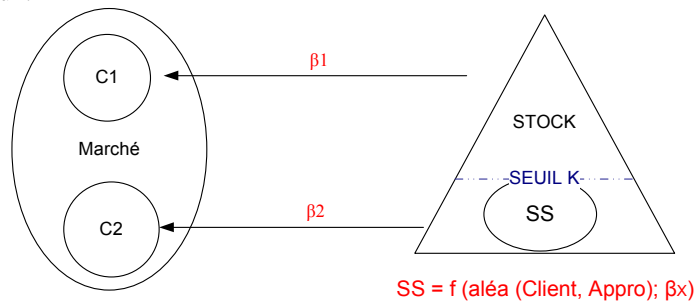
Concernant la solution de stocks dédiés (figure 6-12), par définition, cette dernière est dimensionnée en fonction des prévisions exprimées, non pas à la maille marché, mais à la maille client. Le DRP dédié à chaque stock se base sur des prévisions et les commandes exprimées à la maille client.



**Figure 6-12. Solution des stocks dédiés**

Concernant la solution par seuil de rationnement (figure 6-13), cette dernière considère un stock unique pour l'ensemble des clients. Ainsi, il est possible de constater que les prévisions sont considérées également à la maille marché au niveau du DRP.

Néanmoins, le seuil de rationnement ne peut être dimensionné qu'en estimant le pourcentage de commandes de clients privilégiés. Ainsi la prévision des commandes à la maille client nécessite d'être connue pour fixer préalablement ce seuil.



**Figure 6-13. Solution du seuil de rationnement**

#### 3.2.4. REPARTIR LA COMMANDE AUX USINES

L'activité répartition de la commande magasin aux usines est similaire pour chaque solution. Elle consiste pour chaque DRP à diviser la commande totale en deux commandes usines au moyen d'un coefficient appelé TAFF.

### 3.2.5. DEFINIR LA LIVRAISON USINE

La livraison du magasin par les usines est un problème spécifique à la solution des stocks dédiés. En effet, dans le cas où l'usine ne livre pas la totalité de la commande désirée par les deux stocks, une répartition de la commande est alors nécessaire. Dans le cas des solutions à stock commun et à seuil de rationnement, ce problème n'a pas lieu d'être. Deux modes de livraison ont été envisagés :

- une livraison au prorata de la commande passée,
- une livraison prioritaire au client privilégié.

Le processus « Définir la livraison usine » peut donc être modélisé par la figure 6-14.

### 3.2.6. GERER LE STOCK ET LES BO

A la réception des commandes usines, les magasins doivent gérer les BO. Pour les solutions stock commun et seuil de rationnement, cette gestion est triviale. En considérant une livraison usine au magasin considéré nommé QL, le processus « gérer le stock et les BO » peut donc être modélisé par la figure 6-15.

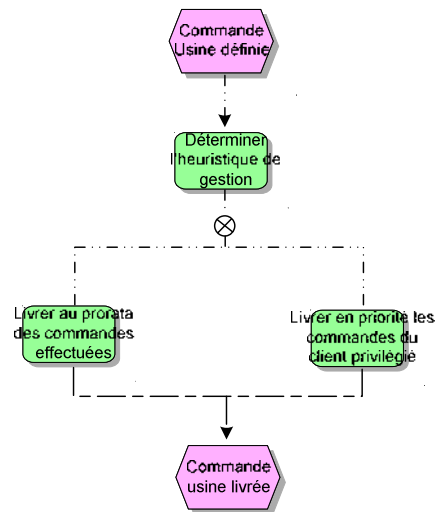


Figure 6-14. Processus de livraison du magasin

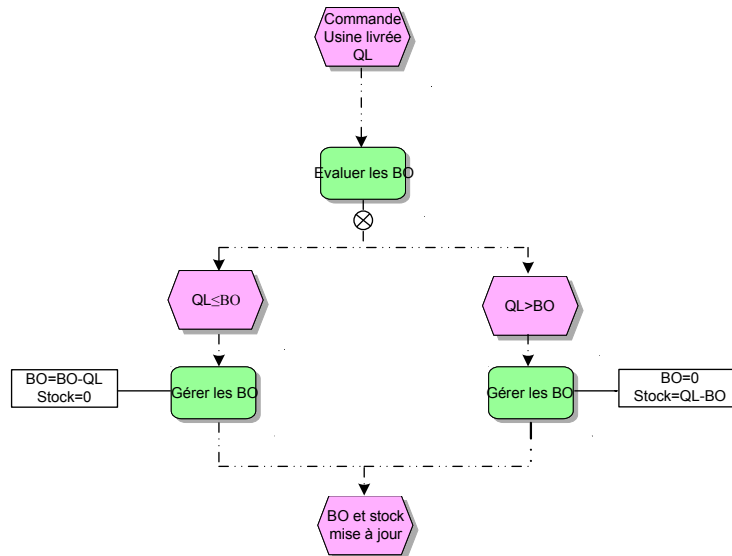
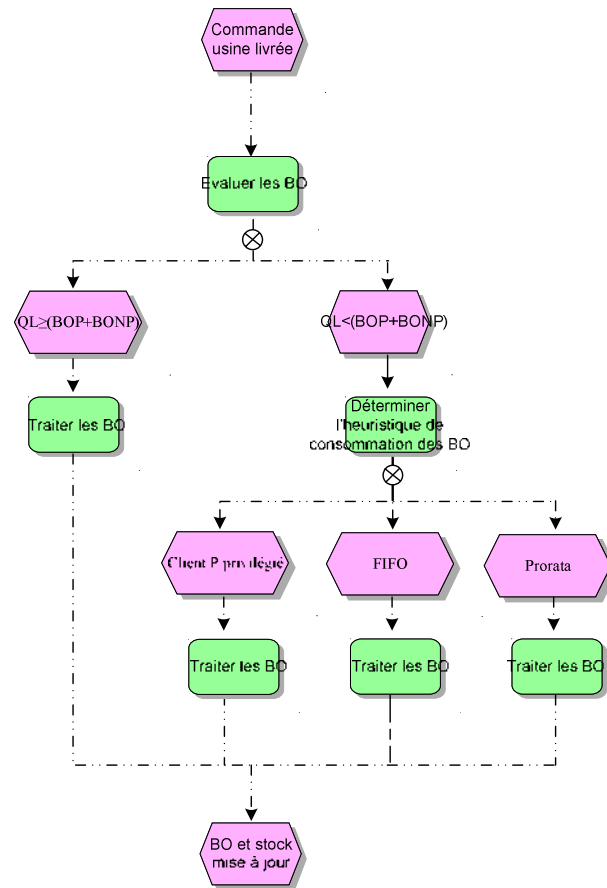


Figure 6-15. Gestion des BO

Solution du stock commun et des stocks dédiés

Pour la solution de seuil de rationnement, le processus de gestion des BO est plus complexe. Ainsi, si la quantité livrée QL ne permet pas de satisfaire l'ensemble des BO, plusieurs stratégies peuvent être appliquées pour la gestion des BO. Le processus « gérer le stock et les BO » peut alors être modélisé par la figure 6-16. La spécification des processus logistiques nous permet d'appréhender le fonctionnement de la chaîne logistique pour chaque solution de gestion de stock. Malgré des processus logistiques communs, les solutions se différencient au niveau des activités élémentaires.



**Figure 6-16. Gestion des BO**  
**Solution du seuil de rationnement**

#### 4. SIMULATION DES TROIS MODES DE GESTION DE STOCK

Les modèles de connaissance des trois solutions ayant été présentés, il nous est dès lors possible de présenter l'étude de simulation qui a été effectuée. Cette étude de simulation a pour but d'évaluer les coûts générés par les trois modes de gestion du magasin.

##### 4.1. ANALYSE SUR LES DONNÉES D'ENTRÉE

Dans un premier temps, nous analysons et définissons les données d'entrée des modèles de simulation. (Orën, 1979) définit les données d'entrée comme des paramètres dont les valeurs sont modifiées afin d'étudier la sensibilité du modèle face à ces dernières. Par opposition, les données du modèle qui sont identiques à chaque scénario de simulation sont considérées comme des paramètres d'étude. La première donnée d'entrée du modèle de simulation est évidemment le mode de gestion du magasin choisi.



Compte tenu des spécifications effectuées et de la complexité du modèle de simulation, le nombre de données du modèle de simulation est important. Parmi les données du modèle, les principales sont les suivantes:

- les commandes des clients par produit (Quantité, délai de livraison),
- les prévisions des commandes clients (Quantité),
- la réponse Usine aux commandes magasins,
- le délai de livraison Usine,
- le coefficient du calcul de stock de sécurité,
- le mode de livraison des usines aux magasins (priorité ou prorata),
- le mode de gestion des BO (FIFO, Priorité, etc.).

Comme mentionné précédemment, tout système de gestion de stock est dimensionné en fonction d'un aléa au niveau de la demande et de l'approvisionnement ainsi qu'en fonction d'un niveau de satisfaction désiré. Parmi les données précédemment citées, il est possible de classer ces dernières de la manière suivante (tableau 6-1) :

<b>Données modélisant l'aléa de la demande</b>	<b>Données modélisant l'aléa de l'approvisionnement</b>	<b>Données concernant le TSD désiré</b>	<b>Autres données</b>
Commandes des clients par produit (Quantité, délai de livraison)	Réponse Usine aux commandes clients	Coefficient du calcul de stock de sécurité	Mode de livraison des usines aux magasins (priorité ou prorata)
Prévisions des commandes clients	Délai de livraison Usine		Mode de gestion des BO (FIFO, priorité, etc.)

**Tableau 6-1. Classification des données et variables du modèle**

En considérant les trois solutions testées, il est possible de souligner que la différence majeure entre les solutions réside dans la prise en compte des commandes et des prévisions clients.

Comme mentionné précédemment, la solution du stock commun suppose une prévision client exprimée à la maille marché. La solution de stocks dédiés considère quant à elle, les prévisions clients non pas à la maille marché mais à la maille client. Enfin le seuil de rationnement est estimé à partir de prévisions exprimées à la maille client. Ces solutions diffèrent donc essentiellement les unes des autres selon la maille des commandes et des prévisions de client prises en compte. De plus, selon les industriels, la réponse usine et les délais de livraison sont très peu variables.

Compte tenu de ces remarques, nous avons donc décidé dans un premier temps de considérer les données concernant l'approvisionnement comme des paramètres fixes de telle manière à focaliser notre analyse sur l'impact des erreurs de prévision.

De même, après discussion avec les industriels sur leur façon de gérer les BO, nous décidons de supposer un seul mode de gestion des BO en gestion FIFO et considérons dans un premier temps un seul mode de livraison prioritaire au magasin dédié au client privilégié.

Les paramètres majeurs du modèle sont donc (tableau 6-2) :

<b>Paramètres</b>	<b>Valeurs</b>
Délai de livraison Usine	3 jours
Réponse Usine aux commandes clients	80% de la commande émise
Mode de livraison des usines aux magasins (priorité ou prorata)	Priorité
Mode de gestion des BO (FIFO, priorité, etc.)	FIFO
Coefficient du calcul de stock de sécurité	Formule standard

**Tableau 6-2. Paramètres du modèle de simulation**

Les données d'entrée du modèle sont donc les suivantes (tableau 6-3) :

Données d'entrée
Commandes des clients par produit (Quantité, délai de livraison)
Prévisions des commandes clients

**Tableau 6-3. Variables d'entrée du modèle de simulation**

Nous proposons dans la section suivante d'expliquer la méthode employée pour la génération des données d'entrée.

#### 4.2. MODELISATION DE L'ERREUR A LA MAILLE MARCHE ET A LA MAILLE CLIENT

Au niveau de cette étude, l'erreur de prévision à la maille marché est connue mais pour des raisons de confidentialité ne peut être mentionnée. Nous la noterons  $EM'$ . Dans cette étude, nous modélisons l'erreur de prévision à la maille marché par l'écart absolu moyen. Pour cela, nous définissons  $EMabs$  l'écart absolu moyen à la maille marché défini par la somme des écarts sur l'horizon  $T$  entre les prévisions du marché  $PM_t$  et les commandes marché  $CM_t$  à la période  $t$ .

$$EMabs = \frac{\sum_t |PM_t - CM_t|}{T}$$

Les prévisions et commandes clients seront alors générées aléatoirement de telle manière à obtenir  $EMabs = EM'$ .

Les chapitres précédents ont mentionné qu'il était nécessaire de considérer les prévisions et les commandes à la maille client. Actuellement, les industriels ne connaissent pas l'erreur effectuée à la maille client tout simplement parce qu'aucune prévision et aucun recueil de données n'est effectuée à cette maille. Nous modélisons l'erreur de prévision à la maille client de la manière suivante :

Nous définissons  $ECabs_i$  l'écart absolu moyen à la maille client défini par la somme des écarts sur l'horizon  $T$  des prévisions  $PC_{i,t}$  et les commandes  $CC_{i,t}$  du client  $i$  à la période  $t$ .

$$ECabs_i = \frac{\sum_t |PC_{i,t} - CC_{i,t}|}{T}$$

Nous obtenons les relations suivantes :

$$PM_t = \sum_i PC_{i,t}$$

$$CM_t = \sum_i CC_{i,t}$$

$$EMabs = \frac{\sum_t \left| \sum_i PC_{i,t} - \sum_i CC_{i,t} \right|}{T}$$

or,

$$\frac{\sum_t \left| \sum_i PC_{i,t} - \sum_i CC_{i,t} \right|}{T} \leq \sum_i \left( \frac{\sum_t |PC_{i,t} - CC_{i,t}|}{T} \right)$$

$$\text{donc } EMabs \leq \sum_i ECabs_i$$

La modélisation précédente nous rappelle que, pour une erreur de prévision à la maille marché connue, seule une borne inférieure de la somme des erreurs de prévisions à la maille client est connue. Cela signifie que l'erreur de prévision à la maille marché ne fixe pas les erreurs de prévision à la maille client. Ainsi nous générons aléatoirement une erreur de prévision à la maille marché et  $n$  erreurs de prévision à la maille client.

### 4.3. CADRE EXPERIMENTAL

Nous utilisons le cadre expérimental tel que l'a défini (Ohrén, 1972). Cet outil permet de donner un cadre à l'étude de simulation en précisant l'objectif, les variables d'entrées, les variables de sortie ainsi que les conditions initiales et de terminaison de notre étude. L'objectif de celle-ci est de déterminer quelle solution est la moins coûteuse en termes de stockage pour une satisfaction client identique. En effet, le but de l'étude est de dimensionner chaque solution de telle manière à ce qu'elle assure un niveau de satisfaction client de 80% pour les clients non privilégiés et de 95% pour les clients privilégiés. Par ailleurs, l'objectif est d'évaluer l'évolution des coûts de stockage en fonction du pourcentage de commandes clients privilégiées à l'instar des travaux de (Deshpande, 2003).

L'étude consistera donc à étudier quelle solution génère le moins coût de stockage pour les TSD clients précédemment cités en fonction d'un certain pourcentage de commandes de clients privilégiés.

La section précédente se concentre sur la définition des variables d'entrée de l'étude de simulation. Néanmoins, nous définissons ici clairement les données d'entrée ainsi que leur plage de valeurs. Concernant les commandes clients, des profils basés sur l'historique des ventes ont été générés. Ainsi des prévisions de ventes à la maille marché et à la maille client ont été générés de telle façon à obtenir l'écart absolu moyen à la maille marché *EM'*. Pour cet écart absolu moyen obtenu à la maille marché, trois valeurs d'erreur à la maille client ont été alors générées.

Les variables d'entrée considérées sont les suivantes :

- 3 solutions de gestion de stock nommées 1 MAG (stock commun), 2 MAG PRIO (stocks dédiés) et 1 MAG SEUIL (par seuil),
- les prévisions mensuelles à la maille client : erreur faible (n=1), moyenne (n=2) et forte (n=3). La justification de l'erreur de prévision a été définie en accord avec les responsables des prévisions commerciales.
- le pourcentage de commandes de clients privilégiés : 10%, 25%, 50%, 75% et 100%.

Concernant les variables observables, l'analyse est basée sur les TSD Client de telle manière à vérifier que la solution génère bien les TSD client désirés, c'est à dire 80% et 95%. Pour cela, nous observons l'évolution et la quantité des BO quotidiennement. Evidemment, les quantités de BO sont liées au TSD recherché. La dernière variable observable est donc l'évolution des stocks journaliers et leur somme sur l'ensemble de l'horizon.

Les variables de sorties considérées sont donc les suivantes :

- le TSD (total, par client),
- les Backorders (quantité quotidienne, quantité totale),
- le Stock (quantité quotidienne, quantité totale).

Concernant les conditions initiales, nous dimensionnons le stock initial à un niveau moyen de stock de telle manière à satisfaire en moyenne les prévisions de commande sur la durée du lead time.

- Stock initial = Moyenne de consommation journalière \* lead time.

Nous considérons les conditions de terminaisons suivantes.

- 100 jours de simulation (10 périodes de 10 jours).

### 4.4. VALIDATION DU MODELE

Le modèle que nous étudions est un modèle déterministe. Nous avons donc validé notre modèle en reprenant les premiers calculs par un calcul manuel et avons vérifié la cohérence du modèle. Afin de vérifier cette dernière sur plusieurs périodes, nous avons validé notre modèle par une analyse par tendance (tableau 6-4).

Solution	Prévisions mensuelles	Réponse usine (%)	TSDt	Stock	Backorder
N°1 (1 MAG)	Erreur faible	80	100%	10768	0
		50	100%	7768	0
	Erreur moyenne	80	88%	12276	588
		50	84%	9684	1288
	Erreur forte	80	88%	15920	1256
		50	79%	12896	1928

**Tableau 6-4. Impact de l'erreur de prévision et la réponse usine**

Nous vous présentons les résultats obtenus par la solution du stock commun.

- Pour une réponse usine donnée, une augmentation de l'erreur de prévision entraîne une baisse du TSD client et une augmentation des stocks.
- Une baisse du TSD usine entraîne également une diminution du TSD client.

Nous avons effectué la même analyse pour les deux autres solutions.

## 4.5. RESULTATS

### 4.5.1. OBTENTION DES TSD DESIRES

L'objectif des industriels est d'obtenir en premier lieu un TSD de 95% pour les clients privilégiés. Dans le cas des solutions de seuil de rationnement et des stocks dédiés, l'objectif est de générer un TSD client de 80% aux autres clients. Comme le cadre expérimental le montre, le TSD des clients est une variable observable du modèle de simulation, c'est-à-dire une donnée de sortie. L'obtention de ce TSD a priori est obtenue au moyen du DRP au niveau du dimensionnement du stock de sécurité. Compte tenu des hypothèses de modélisation notamment effectuées au niveau de l'approvisionnement, l'application de cette formule aboutit forcément à des TSD supérieurs à ceux exigés. Afin d'obtenir les TSD désirés, une approche incrémentielle a été adoptée pour fixer les SS et les niveaux de rationnement. Cette dernière consiste à modifier successivement la valeur du SS de telle façon à trouver les TSD désirés.

#### 4.5.1.1. 1ère étude : Etude de tendances

Nous présentons dans un premier temps une analyse des coûts de stockage pour les trois solutions suivant la proportion de commandes de clients privilégiés. Nous simulons pour chaque solution 5 proportions de commandes de clients privilégiés : 10%, 25%, 50%, 60% et 75%.

Les demandes clients et prévisions sont générées de telle façon à respecter :

- EMabs = EM'
- ECabs1=5% et ECabs2= 5%

Les résultats sont obtenus de la façon suivante :

- On modifie itérativement la valeur des SS des magasins jusqu'à obtenir les TSD désirés.
- Des régressions linéaires sont utilisées pour obtenir les TSD exacts.
- Pour la solution 3, on applique la même démarche au seuil de rationnement.

Nous rappelons que le coût de stockage correspond à la somme des quantités en stock jour après jour. La figure 6-17 présente les résultats obtenus pour la solution du stock commun (1MAG). Evidemment, cette solution est indépendante de la proportion de commandes privilégiées puisqu'elle assure à tous les clients 95% de satisfaction client.

La figure 6-18 présente les résultats obtenus pour la solution de stocks dédiés (2MAG PRIO). Cette dernière nous montre que, plus la proportion de commandes clients privilégiées est importante, plus la solution 2MAG PRIO est coûteuse. Enfin pour 0% et 100% de commandes privilégiées, envisager cette solution n'a pas de sens. La croissance de ce coût s'explique par le fait que l'augmentation de commandes privilégiées entraîne une augmentation logique du stock auquel s'ajoute le stock lié à l'effet non pooling généré par des incertitudes plus grandes au niveau des stocks dédiés. Il est donc logique que le coût de cette solution devienne supérieur à celui de la solution 1 MAG, puisqu'à partir d'un certain pourcentage le coût économisé par la séparation en deux stocks est inférieur à celui généré par la fluctuation de l'incertitude.

La figure 6-19 présente l'évolution des coûts de stockage pour la solution du seuil de rationnement (1MAG SEUIL). Il est possible de constater qu'une augmentation des commandes de clients privilégiés implique logiquement une augmentation des coûts de stockage.

L'étude combinée des trois graphes nous montre que :

- La solution par seuil de rationnement (1MAG SEUIL) génère un coût inférieur aux deux autres solutions pour n'importe quelle proportion de commandes de clients privilégiés.
- La solution des stocks dédiés (2MAG PRIO) génère des coûts supérieurs à la solution du stock commun (1MAG) seulement à partir d'un pourcentage donné de commandes de clients privilégiés.

Dans notre exemple, la figure 6-20 nous montre que le pourcentage à partir duquel la solution de stocks dédiés génère des coûts de stockage supérieurs à ceux générés par la solution du stock commun avoisine les 52%.

Les premiers résultats obtenus permettent de retrouver une évolution des coûts tout à fait logique par rapport au pourcentage de commandes de clients privilégiés. Les coûts générés par la solution du stock commun sont ainsi

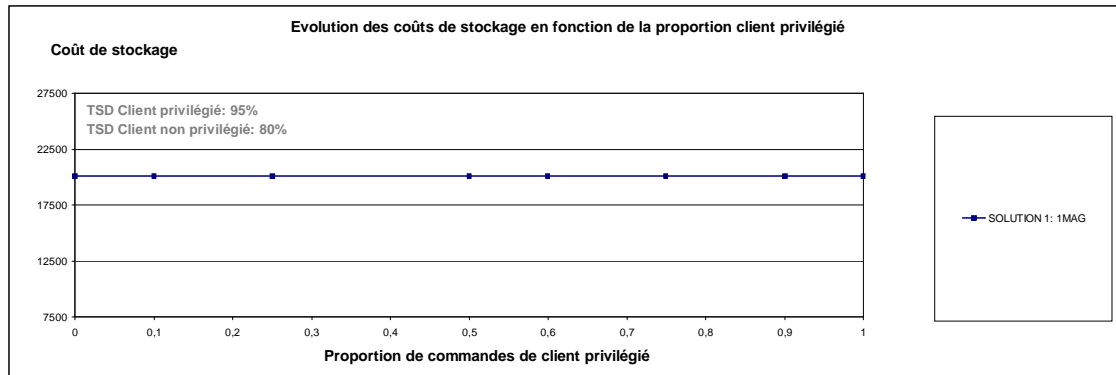


Figure 6-17. Evolution du coût de stockage pour la solution 1MAG

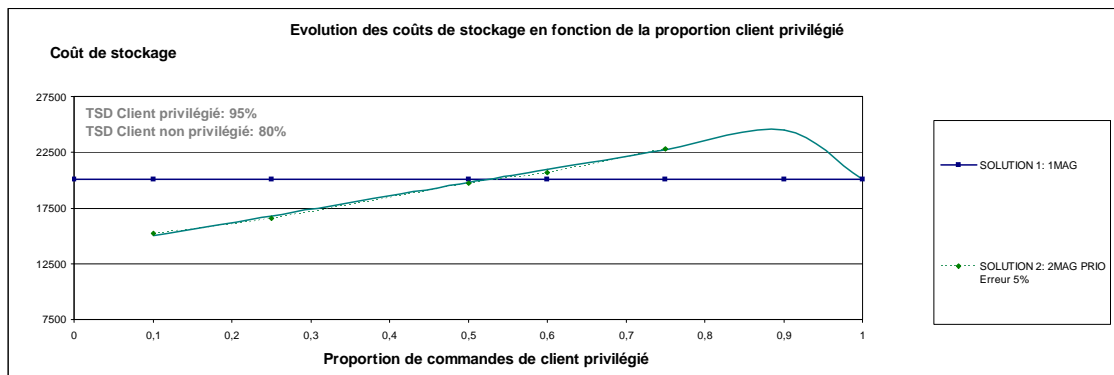


Figure 6-18. Evolution du coût de stockage pour la solution 1MAG et 2MAG PRIO

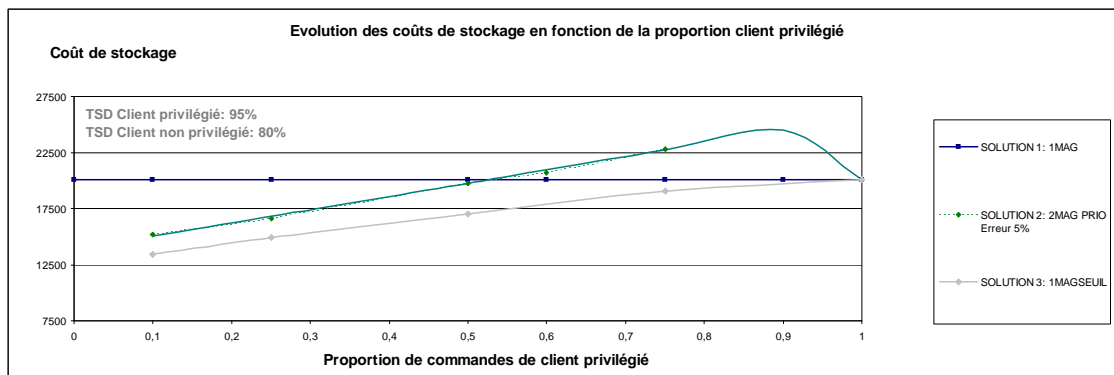


Figure 6-19. Evolution du coût de stockage pour les trois solutions

indépendants du pourcentage de commande de clients privilégiés. Cette solution demeure alors de plus en plus intéressante par rapport à la solution de stocks dédiés au fur et à mesure que le pourcentage de commandes clients devient important. En effet, la solution de stocks dédiés n'apparaît comme une solution avantageuse que pour une proportion de commandes de clients privilégiés faible. En effet, les coûts de stockage qu'elle génère croissent proportionnellement au pourcentage de commandes de clients privilégiés. Enfin, la solution par seuil génère pour n'importe quel pourcentage un coût de stockage plus faible.

Compte tenu des objectifs initiaux de l'étude, ces premiers résultats soulèvent les questions suivantes :

- Quel est l'impact d'une erreur plus grande de prévision à la maille client sur les coûts générés par la solution de stocks dédiés (2MAG PRIO) ? (Cette question revient donc à évaluer l'impact de l'erreur de prévision sur le pourcentage de commandes de clients privilégiés à partir duquel la solution 2MAG PRIO est la plus coûteuse).
- Quel est l'impact d'une erreur plus grande de prévision à la maille client sur les coûts générés par la solution par seuil (1MAG SEUIL)?
- Quel est l'impact de l'écart entre les TSD offerts aux deux types de clients ?

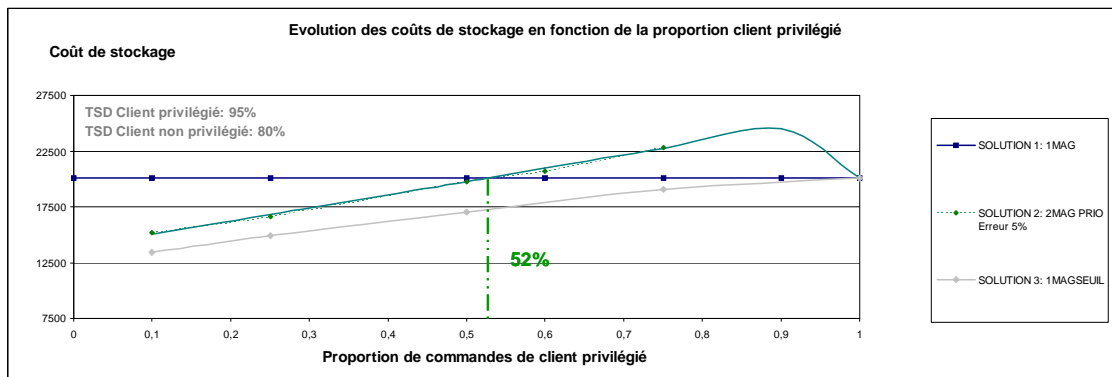


Figure 6-20. Seuil à partir duquel la solution 2MAG PRIO est moins avantageuse que la solution 1MAG

#### 4.5.2. ETUDE DE L'INFLUENCE DE L'ERREUR DE PREVISION A LA MAILLE CLIENT

Pour cela, nous simulons deux niveaux d'erreur à la maille client. Les demandes clients et prévisions sont générées de telle façon à respecter :

- EMabs = EM'
- ECabs1=5% et ECabs2= 5%
- ECabs1'=15% et ECabs2'= 15%

La figure 6-21 présente l'évolution du coût de stockage pour les deux erreurs de prévisions à la maille client seulement pour la solution de stocks dédiés (2MAG PRIO).

L'augmentation de l'erreur de prévision à la maille client entraîne une augmentation des coûts générés pour la solution 2MAG PRIO.

Précisément, une augmentation de 10% de l'erreur de prévision entraîne une augmentation du coût de stockage de 20% pour 10% de commandes de clients privilégiés et de 10% pour 90% de commandes de clients privilégiés. Cette augmentation des coûts de stockage modifie le pourcentage de proportions de commandes de clients privilégiés à partir duquel la solution 2MAG PRIO est la plus coûteuse de 52% à 28% par rapport à la solution 1MAG (figure 6-22).

Ces résultats montrent la sensibilité de la solution de stocks dédiés (2MAG PRIO) par rapport à l'erreur de prévision effectuée à la maille client. Une erreur de 15% par rapport à une erreur de 5% a pour conséquence de modifier la valeur du seuil de préférence entre les solutions 1MAG et 2MAG PRIO de 52% à 28%. La même étude concernant la sensibilité de la solution 1MAG SEUIL par rapport à l'erreur de prévision a été effectuée. Une erreur de 15% par rapport à une erreur de 5% a pour conséquence d'augmenter le coût de stockage de la solution 1MAG SEUIL de 5 à 10%. Néanmoins, à erreur de prévision identique, la solution 1MAG SEUIL demeure toujours la solution la moins coûteuse.

#### 4.6. ETUDE DE L'INFLUENCE DE LA DIFFERENCE ENTRE LES TSD DESIRES

La dernière étude menée concerne l'impact de l'écart désiré entre les TSD assurés au client. Pour cela, nous avons simulé deux écarts de TSD récapitulés dans le tableau 6-5.

	TSD1 Client privilégié	TSD1 Client non privilégié
1 <sup>er</sup> écart 15%	95%	80%
2 <sup>nd</sup> écart 7%	87%	80%

Tableau 6-5. TSD exigé pour chaque type de client

La figure 6-23 présente l'impact d'une diminution de l'écart entre les TSD désirés. La diminution du TSD des clients privilégiés entraîne pour la solution 1MAG et 2MAG PRIO une diminution des coûts. Pour une erreur de prévision à la maille client identique, une diminution de l'écart entre les TSD désirés a pour conséquence de réduire la proportion de commandes de clients privilégiés à partir de laquelle la solution 2MAG PRIO est plus avantageuse que la solution 1MAG (de 52% à 45%). En effet, plus l'écart entre les TSD désirés est grand, plus l'intérêt de dédier les stocks est grand.

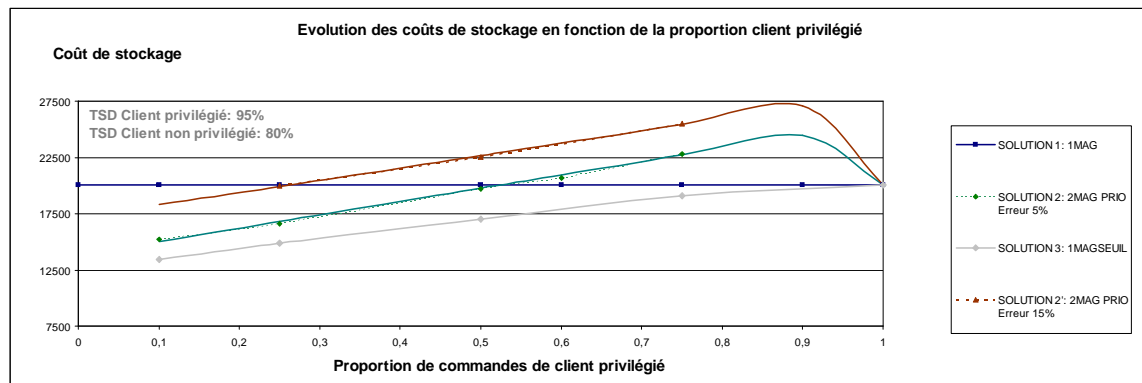


Figure 6-21. Impact de l'erreur de prévision à la maille client

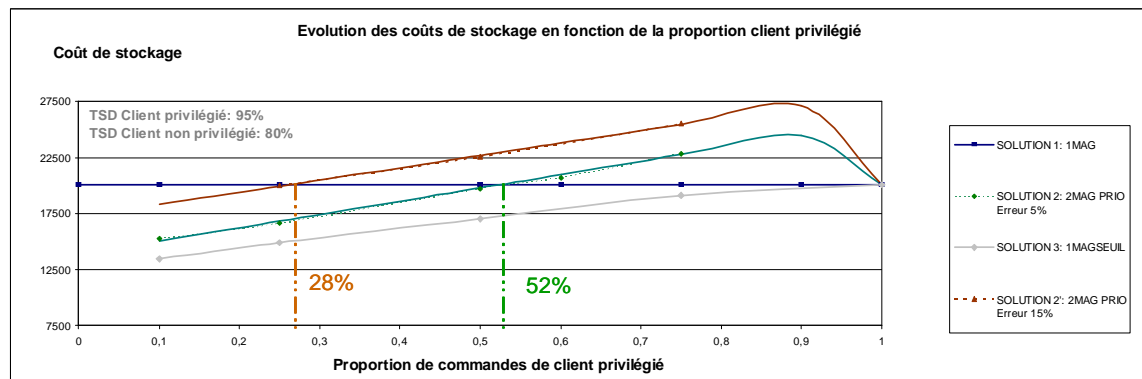
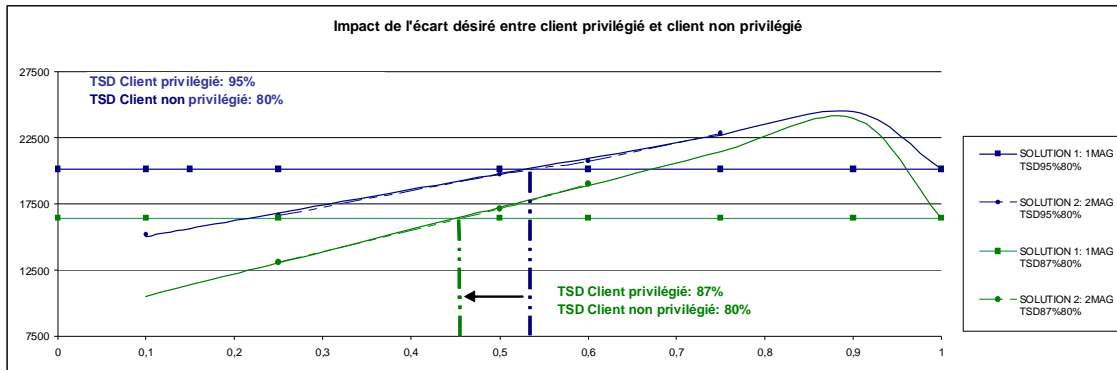


Figure 6-22. Impact de l'erreur de prévision à la maille sur le seuil à partir duquel la solution 2MAG PRIO est moins avantageuse que la solution 1MAG



**Figure 6-23. Impact de l'écart entre les TSD désirés sur le seuil à partir duquel la solution 2MAG PRIO est moins avantageuse que la solution 1MAG**

#### 4.7. SYNTHESE

Plusieurs études de simulation concernant l'étude d'un système de gestion de stock à demande différenciée basé sur le fonctionnement DRP ont été menées. Le but de ces dernières était de vérifier si les conclusions fournies par la littérature concernant la performance des trois solutions ainsi que leur évolution en fonction de plusieurs paramètres pouvaient être généralisées à notre cas d'étude. La première question était de savoir si le graphe donné par (Deshpande, 2003) sur l'évolution des coûts de stockage par rapport à la proportion de commandes de clients privilégiés était en tendance retrouvée dans notre cas d'étude. La comparaison des deux figures 6-24 et 6-25 permet de répondre par l'affirmative à cette question. Ainsi, la solution par seuil génère les coûts de stockage les moins élevés quelle que soit la proportion de commandes de clients privilégiés et la solution de stocks dédiés génère des coûts de stockage moins élevés que la solution du stock commun jusqu'à un certain seuil de commandes de clients privilégiés. A noter que la problématique concernant la fixation des seuils n'a pas été ici traitée.

Par ailleurs, deux études de sensibilité ont permis d'illustrer la sensibilité de la solution de stocks dédiés par rapport à l'erreur de prévision à la maille client et par rapport à l'écart de TSD désirés. Les conclusions sont les suivantes :

- La performance de la solution de stocks dédiés se dégrade fortement en fonction de l'erreur de prévision.
- La solution n'est pertinente que pour un certain écart entre les TSD désirés. Sa pertinence croît proportionnellement à cet écart.

Avant de conclure, il est important de souligner la connaissance acquise par les experts au cours de ce projet. Si les résultats des simulations peuvent finalement ne sembler être que l'illustration de conclusions logiques et basiques de l'évolution de coûts, il paraît important de rappeler que ces dernières n'étaient pour la plupart que très peu maîtrisées par la majorité des experts à l'initiation du projet.

## 5. CONCLUSION

Ce chapitre présente une étude de gestion de stock à demande différenciée. Le but de ce système est d'offrir un taux de satisfaction client dédié. La littérature référence trois modes de gestion et présente un comparatif de la performance de ces trois modes sur des systèmes de gestion de stock dits réactifs. Cette étude émanant d'une problématique industrielle a pour objectif de vérifier si les conclusions données par la littérature sont identiques ou non au niveau d'un système de gestion proactif basé sur un DRP.

Pour réaliser cette étude, la méthodologie ASCI a été suivie. Un modèle de connaissance formalisé sous UML et ARIS a alors été conçu. A partir de celui-ci, un modèle d'action (simulation) développée sous Arena VII a été réalisé permettant l'étude des trois solutions. Les impacts de la proportion de clients privilégiés, de l'écart entre les niveaux de service et de l'erreur de prévision à la maille client ont ainsi été étudiés.

Les résultats de notre étude permettent de donner des conclusions similaires à la littérature concernant la performance des trois modes de gestion pour un système de gestion de stock basé sur un DRP. Ainsi la gestion par seuil semble la solution la plus performante et donc la plus prometteuse pour traiter une demande différenciée. Néanmoins, à l'instar des conclusions de notre état de l'art, la problématique de détermination des seuils pour cette politique de gestion reste très largement ouverte. La conception d'algorithmes ou de modèles de



simulation permettant la fixation de ces paramètres demeure un enjeu majeur pour appliquer cette solution à notre cas d'étude.

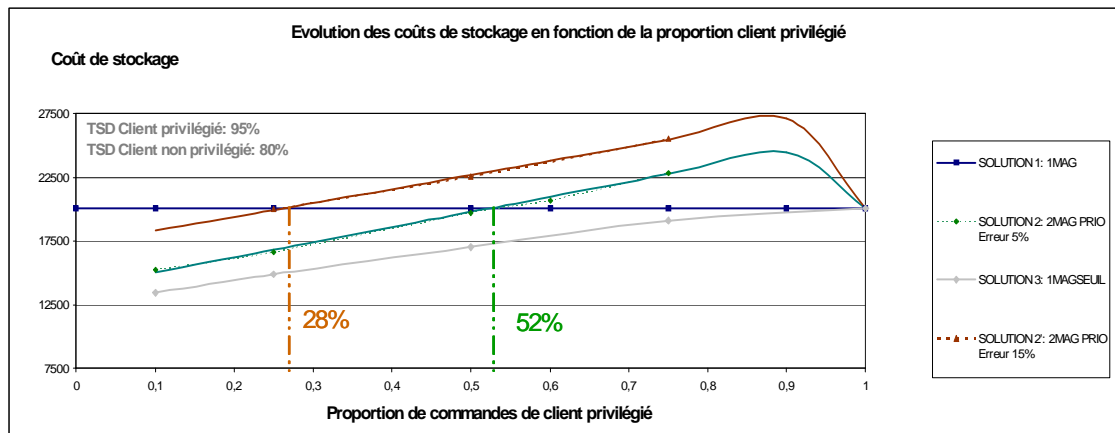


Figure 6-24. Courbes générées par l'étude

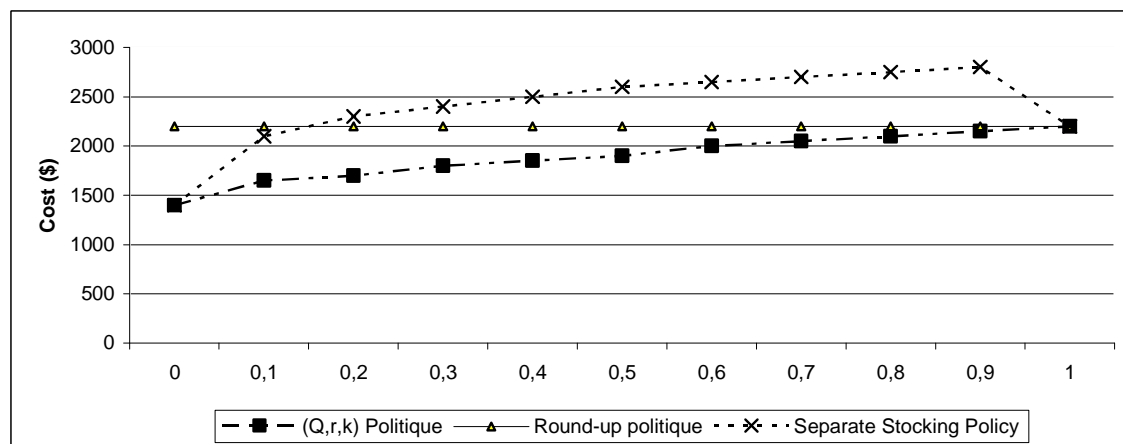


Figure 6-25. Courbes données par (Deshpande, 2003)



## CONCLUSION GENERALE

Les travaux présentés dans ce manuscrit s'inscrivent dans le domaine du management des chaînes logistiques, et plus particulièrement dans celui de la planification tactique. Ces travaux ont pour objectif d'apporter une contribution au niveau de la modélisation et de la résolution de ces problèmes.

Le chapitre 1 s'attache dans un premier temps à définir la notion de chaîne logistique puis dans un second temps à décrire les problématiques liées à ce domaine à un niveau tactique. Compte tenu du domaine d'expertise de notre équipe de recherche et des sollicitations industrielles, nos recherches ont été menées autour de trois axes :

- la modélisation et la conception de méthodes d'optimisation dédiées à la planification tactique des chaînes logistiques,
- la modélisation des flux financiers générés par une planification tactique des chaînes logistiques,
- l'étude d'un système de gestion de stock à demande différenciée.

Concernant le premier axe, l'étude de la littérature présentée au chapitre 2 présente une proposition de classification des modèles dédiés à la planification mono et multi site. Il présente également une analyse détaillée des méthodes employées et des instances résolues sur ces modèles. Cette étude conclut sur le fait qu'il n'existe pas pour la problématique multi site de modèle de référence contrairement aux problématiques mono site. De plus, une hétérogénéité au niveau des instances traitées ainsi que dans les extensions utilisées ne permettent d'avoir une connaissance satisfaisante de la performance des méthodes de résolution dédiées à ce type de problème.

Partant de ce constat, le chapitre 3 s'attache à proposer un modèle de connaissance générique à la planification tactique des chaînes logistiques sous forme de diagramme de classe. Désireux de proposer un modèle mathématique focalisé sur les problèmes de production et non sur ceux de distribution, une hypothèse concernant l'unicité des stocks est posée. Cette dernière nous permet alors de générer un modèle mathématique générique. Nous proposons par suite des procédures de voisinages permettant de résoudre ce problème par des méthodes de résolution à base de recuit simulé. En effet l'étude de la littérature montre que les métaheuristiques bien que prometteuses ont été peu utilisées pour résoudre des problématiques de planification multi site. Ces procédures ont pour particularité d'adoindre aux procédures de voisinages des procédures de réparation permettant de résoudre la problématique de synchronisation horizontale. Ce modèle ainsi que ces méthodes ont été appliquées à un cas d'étude. La résolution sur des instances de taille faible et industrielle montre la pertinence de notre approche et la performance de ces méthodes. La poursuite de ces tests sur des structures différentes de chaîne logistique ainsi que sur d'autres instances semble néanmoins nécessaire pour juger du caractère générique des procédures de voisinages proposées. De plus, la génération d'un modèle mathématique générique à l'ensemble des chaînes logistiques semble tout à fait pertinent et permettrait de classer l'ensemble des modèles et des méthodes de résolution concernant la planification tactique des chaînes logistiques.

Concernant la modélisation des flux financiers à un niveau tactique, l'étude de la littérature au chapitre 2 montre qu'il existe un réel intérêt managérial à joindre à la planification traditionnelle des flux physiques la budgétisation des flux financiers. L'objectif de cette étude est d'évaluer directement l'impact de la planification tactique sur les flux financiers de l'entreprise. En effet alors qu'aujourd'hui la satisfaction des actionnaires est devenue une priorité majeure pour chaque entreprise, la génération de plans tactiques seulement sur des critères de coûts traditionnels paraît trop limitée. Le but de notre étude est donc dans un premier temps d'évaluer lors du processus de planification le cash flow dégagé par une chaîne logistique, afin dans un second temps de l'optimiser puis dans un dernier temps de le répartir parmi les entités de la chaîne logistique.

Le chapitre 4 présente ainsi un modèle d'évaluation nommé PREVA permettant l'évaluation du cash flow dégagé par une chaîne logistique sur un horizon moyen terme. Ce modèle basé sur l'utilisation du modèle de coût ABC et des délais de paiement permet à partir du flux physique de retranscrire les flux financiers et ainsi de déduire le cash flow. Un cas d'étude comparant les flux financiers générés par deux planifications tactiques permet de conclure en la pertinence de cette approche.

Le chapitre 5 présente une adaptation générique du modèle PREVA à l'ensemble des modèles de planification tactique. Cette adaptation consiste à lier les variables physiques des modèles de planification traditionnels aux variables financières du modèle PREVA à partir de l'affectation des stocks. Un modèle de planification permettant l'optimisation des flux financiers basé sur le modèle proposé au chapitre 3 est ainsi obtenu. L'étude des résultats obtenus à partir d'une optimisation des critères physiques puis d'une optimisation des critères financiers permet de conclure en l'intérêt de notre approche.

Par ailleurs, l'évaluation des flux financiers au sein d'une chaîne logistique pose la question de partage de la valeur parmi les différentes entités de la chaîne logistique. Le chapitre 5 présente ainsi un modèle mathématique permettant le partage de la valeur en fixant les prix de cession entre les acteurs internes de la chaîne logistique. Celui-ci permet ainsi de présenter un chaînage de modèle permettant premièrement l'optimisation des flux

financiers puis leur partage. Une illustration sur un cas étude permet ainsi de montrer les différentes répartitions de cash flow qu'il est possible d'obtenir grâce à différents prix de cession.

Les études proposées au chapitre 4 et 5 bien que prometteuses ne demeurent néanmoins que des travaux initiaux dans ce domaine. Il ne fait aucun doute que d'autres études seront nécessaires pour envisager d'intégrer ces concepts dans de nouveaux APS.

Concernant l'étude de la gestion de stock à demande différencié, cette dernière émane d'une problématique industrielle dont l'objectif est d'identifier une gestion de stock optimale permettant de spécifier le TSD offert aux clients. L'état de l'art réalisé au chapitre 2 permet d'identifier trois politiques de stock. L'étude présentée au chapitre 6 consiste donc à vérifier si les conclusions présentées dans la littérature sur des modèles de gestion dit réactifs sont généralisables à notre cas d'étude basé sur un mode de gestion dit proactif. Les résultats de l'étude permettent de répondre par l'affirmative à cette question. Si cette étude permet de conclure que la solution par seuil semble la meilleure solution pour notre cas d'étude, elle ne répond pas pour autant à la problématique de son paramétrage et de sa mise en œuvre. Des travaux en cours ont pour objectif de répondre à ces deux derniers points.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Absi N., Kedad-Sidhoum S., (2006) The multi-item capacitated lot-sizing problem with setup-times and shortage costs, Technical report.
- Afentakis P., Gavish B., (1986) Optimal lot-sizing algorithms for complex product structures, *Operations Research*, Vol.34, pp 237–249.
- Albright T., Robert W., Lawley I.A., (1992) The Beville manufacturing case: Using factory-simulation software to teach the concepts of activity-based costing and non financial performance measures, *Journal of Accounting Education*, Volume 10, Issue 2, pp329-348.
- R.A. Aliev, B. Fazlollahi, B.G. Guirimov and R.R. Aliev, (2007) Fuzzy-genetic approach to aggregate production–distribution planning in supply chain management *Information Sciences*, Volume 177, Issue 20, Pages 4241-4255.
- Anthony R.N., (1988) *The Management Control Function*, Boston, The Harvard Business School Press.
- Aseiedu, Y., Besant, R.W., Gu, P., (2000) Simulation-based cost estimation under economic uncertainty using kernel estimators, *International Journal of Production Research*, Volume 38 (issue 9), pp 2023-2035.
- Atkins, D., Katircioglu K.K., (1995) Managing inventory for multiple customers requiring different levels of service. Working Paper 94-MSC-015, University of British Columbia, Vancouver, B.C.
- Badell M., Pomero J., Puigjaner L, (2005) Optimal budgets and cash flow during retrofitting period in batch chemical industry, *International Journal of Production Economics*, Volume 95, (3), pp 359-372.
- Barany I., Van Roy T.J., Wolsey L.A., (1984) Strong formulations for multi-items capacitated lotsizing, *Management Science*, Vol.30, pp 1255–1261.
- Barbarosoglu G., Özdamar L., (2000) Analysis of solution space-dependent performance of simulated annealing the case of the multilevel capacitated lot sizing problem”, *Computers and Operational research*, Vol.27, N°9, pp 895-903.
- Beamon B., (1998) Supply Chain design and analysis: models and methods. *International Journal of Production Economics*, Volume 55, pp 281-294.
- Bel G. et Thierry C., (2004) *Evolution de la planification de la production*, Ecole d'autonome ERP Clermont – Ferrand.
- Belvaux G., Wolsey L.A., (2000) Lot-sizing problems: Modelling issues and a specialized branch-and-cut system BCprod, *Management Science*, Vol.46, N°5, pp 724–738.
- Billington P. J., McClain J.O., Thomas L.J., (1983) Mathematical programming approaches to capacity-constrained MRP systems: Review, formulation and problem reduction, *Management Science*, Vol. 29, pp1126-1141.
- Billington P. J., McClain J.O., Thomas L.J, (1986) Heuristics for Multilevel Lot-Sizing with a Bottleneck, *Management Science*, Vol.32 , N° 8 , pp 989 – 1006.
- Bitran G.R., Yanasse H.H., (1982) Computational complexity of the capacitated lot size problem, *Management Science*, Vol. 46, N°5, pp 724–738.
- Blackburn J., Millen R., (1982) Improved heuristics for multi stage requirements planning systems, *Management Science*, vol. 28, N°1, pp 44-56.
- Blackburn J., Millen R., (1985) An evaluation of heuristic performance in multi stage lot sizing systems, *International Journal of Production Research*, Vol. 23, N°5, pp 857-866.

- 
- Boons A., (1998) Product costing for complex manufacturing system, *International Journal of Production Economics*, Volume 55 (3), pp 241-255.
- Botta-Genoulaz V., Dedun I., Gruat la Forme F.A., Martinez A., Millet P.A., Pellegrin C., (2005) Etat des lieux des systèmes d'information supports de la chaîne logistique intra et/ou inter-entreprises, Rapport intermédiaire année 2, projet copilote.
- Botta-Genoulaz V., Millet P.A., (2005) A classification for better use of ERP systems, *Computers in Industry*, volume 56, pp 573-587.
- Bouquin H., (2001) *La comptabilité de Gestion*, 2ème édition, Collection Que sais-je, Presses Universitaires de France (PUF), Paris.
- Bouquin H., (2004) *Le Contrôle de Gestion*, 6ème édition, Presses Universitaires de France (PUF), Paris.
- Bowersox D.J., Stank P.T., and Daugherty P.J., (1999) Lean launch : managing product introduction risk through response-based logistics, *Journal of Product Innovation Management*, Volume 16, Issue 6, pp 557-568.
- Buxey G., (1989) Production scheduling: Practice and theory, *European Journal of Operational Research*, Vol.39, pp 17-31.
- Byrne M.D., Bakir M.A., (1999) Production planning using a hybrid simulation- analytical approach, *International Journal of production economics*, Vol.59, pp 305-311.
- M.D. Byrne and M.M. Hossain Byrne et al., (2005), Production planning: An improved hybrid approach *International Journal of Production Economics*, Volumes 93-94, 8 January 2005, pp 225-229.
- Chabrol M., Sarramia D., Tchernev N., (2006) (b), Urban Traffic Systems Modelling Methodology, *International Journal of Production Economics*, Volume 99, Issues 1-2, January-February 2006, pp 156-176.
- Chan K.K., Spedding T., (2003) An integrated multidimensional process improvement methodology for manufacturing systems, *Computers & Industrial Engineering*, Volume 44, pp 673-693.
- Chen H., Chu C., (2003) A lagrangian relaxation approach for supply chain planning with order-setup costs and capacity constraints, *Journal of systems science and systems engineering* , Vol. 12, No.1, pp 98-110.
- Chen W.H., Thizy J.M., (1990) Analysis of relaxation for the multi-item capacities lot-sizing problem, *Annal of Operations Research*, Vol.26, pp 29-72.
- Chikan, A. Progress in inventory research : Elsevier, (1989) *European Journal of Operational Research*, Volume 44, Issue 2, 25 January 1990, pp 302.
- Christopher M., (1999) Supply Chain Strategy : its impact on shareholder value, *International journal of Logistics Management*, Volume 10, n°1 (1999), pp 3-12.
- Cil I., (2004) Internet-based CDSS for modern manufacturing processes selection and justification, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Volume 20., pp 177-190.
- Clark A.R., Armentano V.A., (1995) The Application of Valid Inequalities to the MultiStage Lot-Sizing Problem, *Computers and Operations Research*, Vol.22, pp 669-680.
- Clark A.R., (2002) Approximate combinatorial Optimization Models for Large-Scale Production Lot Sizing and scheduling with Sequence-Dependent setup times, IV ALIO/EURO Workshop on Applied Combinatorial Optimization, Pucón, Chile.
- Cohen M.A., Kleindorfer P.R., Lee H.L, (1988) Service constrained (s,S) inventory systems with priority demand classes and lost sales, *Management Science*, 34:482-499.
- Cohen, M.A., Kleindorfer, P.R., (1993) Creating value through operations: The legacy of Elwood S.Buffa. In Sarin, R.K.(Ed.), *Perspectives in Operations Management (Essays inHonor of Elwood S)*.

- Colin J., (2004) La logistique du point de vue des Sciences de Gestion, La logistique entre Management et Optimisation, Lièvre P. et Tchernev N. Eds, Hermès Sciences, Paris.
- Combes C., (1994) Un environnement de modélisation pour les systèmes hospitaliers, Thèse de doctorat en informatique, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand.
- Comelli M., Lemoine D., Gourgand D., (2007) (a) A review of tactical planning models, Journal of Systems Science and Systems Engineering, In press.
- Comelli M., Fenies P., Lemoine D., N. Tchernev, (2007) (b) Tactical planning for optimal cash flow and value sharing in Supply chain , International Journal of Logistics Systems and Management, In press.
- Comelli M., Fenies P., Gourgand M. Tchernev N., (2008) (a) A generic evaluation model for Activity Based Costing and Cash flow evaluation in a company supply chain, International Journal of Production Economics, Volume 112, Issue 1, pp 77-95.
- Comelli M., Lemoine D., (2008) (b) Optimisation d'un modèle de planification tactique d'une chaîne logistique de type Flow Shop Hybride, e-revue des Sciences et Technologies de l'Automatique, Vol5 (1), pp 8-13.
- Cooper R., Kaplan R.,(1991) The Design of Cost Management System, 2nd Ed., Prentice Hall International, London, Englewood Cliffs.
- Cooper M., Lambert D., et Pagh J., (1997) Supply Chain Management: more than a new name for logistics, the International Journal of Logistics Management, Volume 8, n°1, pp1-13.
- Cossard N., (2004) Un environnement logiciel de modélisation et d'optimisation pour la planification de la production dans la chaîne logistique, Thèse de doctorat en informatique, Limos, Université Blaise Pascal, Clermont-ferrand
- Courtois A., Pillet M. and Martin-Bonnefous C., (2003) Gestion de production, 4ème édition, Edition de l'organisation
- Y. Crama, Y. Pochet, Y. Wera, (2001) A discussion of production planning approaches in the process industry, rapport interne Université de Liège.
- Dauzère-Pérès et al., (1994) Integration of lotsizing and scheduling decisions in a job-shop European Journal of Operational Research, Volume 75, Issue 2, pp 413-426.
- Dauzère-Pérès S., Lasserre J.B., (2002) On the importance of sequencing decisions in production planning and scheduling", International Transactions in Operational Research, Vol.9, N°6, pp779-793.
- David F, (2003) ERP for the management of Aluminium Conversion Industry: what is relevant?, In proceeding IEPM, 2003.
- Degraeve Z., Jans R., (2003) A new Dantzig-Wolfe reformulation and branch-and-price algorithm for the capacitated lot sizing model with set-up times, ERIM Report Series in Management ERS-2003-010-LIS, Erasmus University Rotterdam.
- Dekker R., Hill R.M, Kleijn M.J (1997): On the (S-1,S) lost sales inventory model with priority demand classes. Report EI9743/A, Erasmus University Rotterdam, The Netherlands.
- Dekker, Kleijn & De Rooij (1998) A spare parts stocking system based on equipment criticality, International Journal of Production Economics, 56-57, pp 69-77.
- Dellaert N., Jeunet J., (2002) Randomized multi-level lot-sizing heuristics for general product structures, European Journal of Operational Research, Vol. 148, N°1, pp 211-228.
- Dellaert N., Jeunet J., (2000) Solving large unconstrained multilevel lot-sizing problems using a hybrid genetic algorithm, International Journal of Production Research, Vol. 38, N°5, pp 1083-1099.

Deroussi, 2002 Deroussi L., "Heuristiques, métaheuristiques et systèmes de voisinage : application à des problèmes théoriques et industriels de type TSP et ordonnancement", Thèse de doctorat, Université de Clermont-Ferrand II.

Deshpande V., Cohen A., Donohue K., (2003) A threshold inventory rationing policy for service differentiated demand classes, *Management Science* 49, pp 683–703.

Diaby M., Bahl M.H., Karwan M.H., Zionts S., (1992) A lagrangean relaxation approach for very-large-scale capacitated lot-sizing, *Management Science*, Vol.38, N°9, pp 1329–1340.

Diaby M., Bahl M.H., Karwan H.C., Zionts S., (1992) Capacitated lot-sizing and scheduling by lagrangean relaxation, *European Journal of Operational Research*, Vol.59, pp 444–458.

Dixon P.S., Silver E.A., (1981) A heuristic solution procedure for the multi-item, single level, limited capacity, lotsizing problem, *Journal of operations management*, Vol.2 , pp 23–39.

Dogramaci A., J.C. Panayiotopoulos, N.R. Adam. "The dynamic lot-sizing problem for multiple items under limited capacity". *AIIE Transactions*, Vol.13, N°4, pp 294–303, 1981.

Drexl A., Kimms A., (1997) Lot sizing and scheduling - Survey and extensions, *European Journal of Operational Research*, Vol.99, pp 221-235.

Du Merle O., Goffin J.L., Trouiller C., Vial J.P, (1997) A lagrangian relaxation of the capacitated multi-item lot sizing problem solved with an interior point cutting plane algorithm, Research paper, McGill university, Montréal, Canada.

Dudek G., et Stadtler H., (2005) Negotiation-based collaborative planning between Supply Chains partners, *European Journal of Operational Research*, Volume 163, Issue 3, pp 668-687.

Durieux et al., (2008), Document de synthèse, Projet GDR-MACS « Prise de décision dans la chaîne logistique en monde incertain ».

Ellram L.M., (1991), Supply Chain Management: the industrial organization perspective, *International Journal of Physical Distribution and Logistics*, Volume 21 (1), pp13-22.

Eppen G.D., Martin R.K., (1987) Solving multi-item lot-sizing problems using variable redefinition, *Operations Research*, Vol. 35, pp 832-848.

Evans R.V. (1968), Sales and restocking policies in a single item inventory system, *Management Science*, 14:463-472

Fawcett E., Magnan G.M., (2001) Achieving World class Supply Chain Alignments : benefits, barriers, and bridge. Center for Advanced Purchasing Studies, CAPS 2001.

Féniès P., Gourgand M., et Tchernev N., (2004) A framework for supply chain evaluation in 5e International Meeting for Research in Logistics, RIRL 04, Fortaleza, Brazil.

Féniès, (2006) Une méthodologie de modélisation par processus multiples et incrémentiels : application pour l'évaluation des performances de la Supply Chain, Thèse de doctorat en informatique, Limos, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand.

Fleischmann B., Meyer H., and Wagner M., (2001) Advanced Planning, Supply Chain Management and Advanced Planning : concepts, Models, Software and Case Studies, H.Stadtler et C.Kigler Editeurs, Springer Verlag Berlin.

Forrester J.W., 1961, *Industrial dynamics*, Productivity Press.

Franca P.M., Armentano V.A., Berretta R. E., Clark A. R., (1997) A Heuristic for Lot-Sizing in Multi-Stage Systems, *Computers and Operations Research*, vol. 24, n°9, pp 861-874.



Ganeshan R., Harrison T., (1995) An introduction to Supply Chain Management. Penn state university, department of management science and information system operations. Prentice Hall, New Jersey.

Garavelli C., Geoffrey Okogbaa O. and Nicola Violante, (1996) Global manufacturing systems: A model supported by genetic algorithms to optimize production planning *Computers & Industrial Engineering*, (1996), Volume 31, Issues 1-2, pp 193-196.

Gelders, L.F., Maes J., Van Wassenhove L.N., (1986) A Branch and Bound Algorithm for the Multi-item Single Level Capacitated Dynamic Lotsizing Problem, *Multi-stage Production Planning and Inventory Control*, Lectures Notes in Economics and Mathematical Systems, pp 92–108.

Génin P., Lamouri S., Thomas A., (2001) Utilisation de la programmation linéaire dans l'optimisation du plan industriel et commercial, *Revue française de gestion industrielle*, vol. 20, n°4, pp 83-98

Génin, (2004) Planification tactique robuste avec usage d'un A.P.S –Proposition d'un mode de gestion par plan de référence », Mémoire de thèse, Ecole des Mines de Paris, France.

Giard V., Gestion de la production, Edition Economica, 1988.

Gilbert, K.C., Madan M.S., (1991) A heuristic for a class of production planning and scheduling problems, *IIE Transactions*, Vol.23, pp 282–289.

Gnoni, M.G., Iavagnilio R., Mossa G., Mummolo G., Di Leva A., (2003) Production planning of a multi-site manufacturing system by hybrid modelling: A case study from the automotive industry”, *International Journal of Production Economics*, Vol.85, pp 251-262.

Goetschalckx M., Vidal C.J., and Dogan K., (2002) Modeling and design of global logistics systems: A review of integrated strategic and tactical models and design algorithms, *European Journal of Operational Research*, Volume 143, Issue 1, pp 1-18.

Goldbach M., (2002) Organizational settings in supply chain costing, in *Cost management in Supply Chains*, Seuring S., et Goldbach M., editors, Springer Physica- Verlag, pp 89-107.

Goldsby T., Closs D., (2000) Using Activity Based Costing to reengineer the reverse logistics channel, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Volume 30, issue 6, pp 500-514.

Gopalakrishnan M., Ding K., Bourjolly J.M., Mohan S., (2001) A tabu-search heuristic for the capacitated lot-sizing problem with set-up carryover, *Management Science*, Vol.47, N°6, pp 851–863.

Goujon J.Y., (1998) Un environnement de modélisation multi-agents pour la spécification et l'évaluation des performances des systèmes industriels de production. Thèse de doctorat en informatique, Limos, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand.

Gourgand M., Kellert P., (1991) Conception d'un environnement de modélisation des systèmes de production, troisième congrès de Génie Industriel, Tours.

Grangeon, 2001, « Métaheuristiques et modèles d'évaluation pour le flow shop hybride », Thèse de doctorat, Université de Clermont-Ferrand II.

Gruat la Forme A.F., Botta-Genoulaz V., Campagne J.P., (2008) The Role of APS System in Supply Chain Management ; theoretical and industrial analysis., In press.

Guillen G., Badell M., Espuna A., Puigjaner L., (2006) Simultaneous optimization of process operations and financial decisions to enhance the integrated planning/scheduling of chemical supply chains, *Computers and Chemical Engineering* 30, pp 421–436.

Guinet, 2001 Multi-site planning: A transshipment problem, *International Journal of Production Economics*, Volume 74, Issues 1-3, pp 21-32.

- Gupta A., Maranas C.D., (2003) Managing demand uncertainty in supply chain planning, *Computer and chemical engineering*, Vol.27, pp 1219-1227.
- Ha A.Y. (1997a), Stock rationing policy for a make to stock production system with two priority classes and backordering, *Naval Research Logistics*, 44:457-472.
- Ha A.T (1997b) Inventory rationing in a make to stock production system with several demand classes and lost sales, *Management Science*, 43:1093-1103.
- Haase K., Kohlmorgen U., (1995) Parallel genetic algorithm for the capacitated lotsizing problem, *Operations research proceedings*, pp 370–375.
- Hammer M., Champy J., (1993) *Reengineering the Corporation : A Manifest for Business Revolution*, 1st ed., Harper Business, New York.
- Handfield R.B., Bechtel C., (2002) The role of trust and relationship structure responsiveness, *Industrial Marketing Management* Volume 31, pp 367-382.
- Hassini E., (2006) Order lot sizing with multiple capacitated suppliers offering lead time-dependent capacity reservation and unit price discount, *Production Planning Control*, In press.
- Haugen K.K., Olstad A., Pettersen B.I. (2006), “The profit maximizing capacitated lot-size (PCLSP) problem”, *European Journal of Operational Research*, In press.
- Heinrich C. , Schneeweiss C., (1986) Multi-Stage Lot-Sizing for General Production Systems in S. Axsater, C. Schneeweiss, and E. Silver (Eds.), *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, Springer Verlag, Heidelberg, Germany.
- Hindi K.S., (1995) Computationally efficient solution of multi-item capacitated lot sizing problems, *Computers and industrial Engineering*, Vol.28, N°4, pp 709–719.
- Hindi K.S, (1996) Solving the CLSP by a tabu search heuristic, *Journal of Operational Research Society*, Vol.47, N°1, pp 151–161.
- Hindi K.S., Fleszar K., Charalambous C., (2003) An effective heuristic for the CLSP with set-up times, *Journal of Operational Research Society*, Vol. 54, pp 490–498.
- Hoekstra S., Romme J., (1992) *Integral Logistics Structures: Developing Customer Oriented Goods Flow*, McGraw-Hill, London.
- Holweg M., Disney S., Holmström J., Småros J., (2005) Supply Chain Collaboration: Making Sense of the Strategy Continuum., *European Management Journal*, Volume 23, Issue 2, pp 170-181
- Hombourg C., (2004) Improving ABC heuristics by higher-level cost drivers, *European Journal of Operational Research*, Volume 157(2), pp 332-343.
- Huisman D., Jan R., Peeters M., Wagelmans A.P.M., (2003), Combining column generation and lagrangian relaxation, Technical report.
- Jeunet J., Jonard N., (2005) Single-point stochastic search algorithms for the multi-level lot-sizing problem, *Computers and Operations Research*, Vol.32, N°4, pp 985-1006.
- Kanyalkar A. P. and. Adil. G. K, (2005), "An integrated aggregate and detailed planning in a multi-site production environment using linear programming", *International Journal of Production Research*, 43(20), pp 4431-4454.
- Kaplan, A. (1969) Stock rationing: *Management Science*, 15:260-267.
- Karimi B., Fatemi Ghomi S.M.T, Wilson J.M., (2003) The capacitated lot sizing problem: a review of models and algorithms, *Omega*, Vol.31, N°5, pp 365-378.

Karimi B., Fatemi Ghomi S.M.T, Wilson J.M., (2005) A tabu-search heuristic for the clsp with backlogging and set-up carry-over, *Journal of Operational Research Society*, Vol.47, N°6, pp 851–863.

Katok E., Lewis H.S., Harrison T.P., (1998) Lot Sizing in General Assembly Systems with Setup Costs, Setup Times, and Multiple Constrained Resources, *Management Science*, Vol.44, N°6, pp 859-877.

Kellert P., (1992) Définition et mise en oeuvre d'une méthodologie de modélisation orientée objets pour la modélisation de systèmes de production, *Congrès INFORSID*, Clermont-Ferrand, pp 415-436.

Kemmoe S., (2007), Métaheuristiques, modèles mathématiques, modèles d'évaluation de performances pour le problème d'ordonnancement de projets sous contraintes de ressources, Thèse de doctorat, Université de Clermont-Ferrand II, 2007.

Kim H.J., Hosni Y.A. (1998) Manufacturing Lot-sizing under MRP II Environment : an improved analytical model and a heuristic procedure, *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 35, N°3, pp 423-426.

Kim B. and Kim S., (2001) Extended model for a hybrid production planning approach *International Journal of Production Economics*, Volume 73, Issue 2, 21 September 2001, pp 165-173.

Kirca Ö., Kökten. M., (1994) A new heuristic approach for the multi-item dynamic lot sizing problem, *European Journal of Operational Research*, Vol.75, pp 332–341.

Kleijn M.J, Dekker R., (1998) An Overview of Inventory Systems with Several Demand Classes, *Econometric Institute Report 9838/A*.

Kuik R., Salomon M., (1990) Multi-level lot-sizing problem: Evaluation of a simulated annealing heuristic, *European Journal of Operational Research*, Vol.45, N° 1, pp 25-37.

Kuik R., Salomon M., Van Wassenhove L.N, Maes J., (1993) Linear programming, simulated annealing and Tabu Search Heuristics for lotsizing in bottleneck assembly system, *IIIE Transactions*, Vol.25, N°1, pp 62-72.

La Londe B.J., Ginter L.J., (2000) Activity Based Costing Best Practices 1999, *The Supply Chain Management Research Group*, rapport technique, Université de l'Ohio, US.

Lacomme P., (1998) Optimisation des systèmes de production : méthodes stochastiques et approches multiagents, Thèse d'université, Clermont Ferrand.

Lambrecht M., Vanderveken H., (1979) Heuristic procedures for the single operation multi item loading problem, *AIIE Transactions*, Vol.11, pp 319–326.

Lamouri S., Thomas A., (2000) « Flux poussés : MRP et DRP », AG 5 110, *Encyclopédie Techniques de l'ingénieur*, Traité L'entreprise Industrielle, Paris.

Laporte G., (1992 a) The Traveling Salesman Problem: An overview of exact and approximate algorithms." *European Journal of Operational Research*, 59, pp 231-247.

Laporte G., (1992 b) "The Vehicle Routing Problem: An overview of exact and approximate algorithms." *European Journal of Operational Research*, 59, pp 345-358.

Lea B.,R., Fredendal L., (2002) The impact of management accounting, product structure, product mix algorithm, and planning horizon on manufacturing performance, *International Journal of Production Economics*, Volume 79(3), pp 279-299.

Lee H.L, Nahmias, S. (1993) Single product, single location models, *Handbooks in OR&M*, vol 4 S.C Graves, A.H.G Rinnooy Kan, et P. Zipkin, Elsevier Science Publisher, North-Holland.

Lee H.L., Billington C., (1993) Material Management in decentralized Supply Chain, *Operation Research*, 41(5), pp 835-847.

- Lee H.L., Padmanabhan V., Whang S., (1997) Information distortion in a Supply Chain: the bullwhip effect, *Management Science* 43 (4), pp 546-558.
- Gourgand. M, Grangeon N., Lemoine D., Norre S., (2007) Couplage de modèles pour une planification robuste, *Conférence CPI 07*, Rabbat.
- Leung J.M., Magnanti T.L., Vachani R., (1989) Facets and algorithms for the capacitated lot sizing, *Mathematical programming*, Vol.45, pp 331-359.
- Liston P., Byrne P.J., Heavey C., (2006) An evaluation of simulation to support contract costing ? *Computers and Operations Research*, In Press, Corrected Proof, Available online 28 February 2006.
- Lorino P., (2001) La performance et ses indicateurs. Eléments de définition. In *Indicateurs de performance*, sous la direction de Chantal Bonnefous et Alain Courtois, Productique – Hermes, Paris.
- Lin J.T., Chen Y.Y., (2007) A multi site supply network planning problem considering variable time bucket – A TFT-LCD Industry Case, *International Journal Manufacturing Technologies*, Vol. 33; pp1031-1044.
- Lysons K., Gillingham M., (2003) *Purchasing and Supply Chain Management*, 6e edition, Prentice Hall.
- Maes J., J.O. McClain, L.N. Van Wassenhove, (1991) Multilevel capacitated lotsizing complexity and LP-based heuristics, *European Journal of Operations Research*, Vol.53, pp131-148.
- Maes J., L.N. Van Wassenhove, (1986) A simple heuristic for the multi-item single level capacitated lot sizing problem, *Letters of the Operational Research Society*, Vol.4 , pp 265-274.
- Manier M.A., Bloch B., (2003) A classification for Hoist Scheduling Problems, *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, vol. 15, no. 1, pp. 37-55, Kluwer Academic Publishers, ISSN 0920-6299.
- Manne A.S., (1958) Programming of economic lot sizes, *Management science*, vol. 4, pp 115-135.
- Marty C., (1997) *Le juste à temps produire autrement*, 2<sup>ème</sup> édition, Edition Hermes, p124.
- March S.T., and Hevner A., (2005) Integrated decision support systems: A data warehousing perspective, *Decision Support Systems*, In Press, Corrected Proof, Available online 20 July 2005.
- Martin A.J., (1995), *DRP - Distribution and Resources Planning*, le moteur de l'ECR.
- Mc Donald C.M., Karimi I.A., (1997) Planning and Scheduling of parallel Semicontinuous Processes, *Production Planning, Industrial Engineering Chemical Research*, Vol.36, pp 2691-2700.
- Melchior P., Dekker R., Kleijn M.J., (1998) Inventory rationing in a (s, Q) inventory model with lost sales and two demand classes, Report EI9837/A, Econometric Institute, Erasmus University Rotterdam, The Netherlands.
- Mévellec P., (1990) La comptabilité à base d'activités : une étude comparée. *Revue Française de Comptabilité* (octobre).
- Miller A.J., Nemhauser G.L., Savelsbergh M.W.P., (2000) Solving multi-item capacitated lot-sizing problems with setup times by branch-and-cut, Technical report.
- Miller M.H., Orr R., (1966) A model of the demand of money for firms, *The Quarterly journal of economics*, Vol 80 (3), pp 413-435.
- Moon C., and Seo Y., (2005) Evolutionary algorithm for advanced process planning and scheduling in a multiplant *Computers & Industrial Engineering*, Volume 48, Issue 2, pp 311-325.
- Moon I., Kang S. (1998) Rationing policies for some inventory systems, *Journal of the Operational Research Society*, 49:509-518.
- Morana J., (2002) *Le couplage supply chain management - tableau de bord logistique : une approche*

exploratoire, thèse d'université, Aix en Provence.

Morel G., Panetto H., Zaremba M., and Mayer F., (2003) Manufacturing Enterprise Control and Management System Engineering: paradigms and open issues Annual Reviews in Control, Volume 27, Issue 2, pp 199-209

Nahmias S., Demmy W., 1981 Operating characteristics of an inventory systems with several demand classes. Technical Report EI9838/1, Erasmus University Rotterdam, the Netherlands.

New S.J., Payne P., (1995) Research frameworks in logistics : three models, seven dinners and a survey, International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, Volume 25 (10), pp 60-77.

Olhager J., Rudberg M., Wikner J., (2001) Long-Term capacity management: Linking the perspectives from manufacturing strategy and sales and operations planning, Int. J. Production Economics 69 215-255.

Olhager J., (2003) Strategic positioning of the order penetration point, International Journal of Production Economics, Volume 85, Issue 3, pp319-329.

Oliver R.K., Webber M.D., (1982) Supply Chain Management: Logistics catches up with strategy, Réédition de Outlook 1982 dans Christopher M., (Ed), Logistics, the strategic Issues, London, pp63-75.

Ören T. and Zeigler B., 1979, Concepts for advanced simulation methodologies, Simulation, March, pp 69-82.

Özdamar L., Barbarosoglu G., (2000 (a)) An integrated Lagrangean relaxation-simulated annealing approach to the multilevel multi-item capacitated lot sizing problem, International Journal of Production Economics, Vol. 68, pp 319-331.

Özdamar L., M.A. Bozyel, (2000 (b)) The capacitated lot sizing problem with overtime decisions and setup times, IIE Transactions, Vol.32, pp 1043–1057.

Özdamar L., Birbil S.I., Portmann M.C., (2002) Technical note: New result for the capacitated lot sizing problem with overtime decisions and setup times, Production Planning & control, Vol.13, N°1, pp 2–10.

Ozbayrak M., Akgun M., Turker A.K., (2004) ABC estimation in a Push/Pull advanced manufacturing system, International Journal of Production Economics, Vol 87(1), pp 49-65.

Pibernic R., Sucky R. , (2007) An approach to inter-domain master planning in supply chain, International Journal Production Economics, Vol 108, pp 200-212.

Pimor Y., (2001) Logistique : techniques et mise en oeuvre, Série Gestion Industrielle, 2ème édition Dunod.

Pirard F., (2005) Une démarche hybride d'aide à la décision pour la reconfiguration et la planification stratégique des réseaux logistiques des entreprises multi-sites, Thèse de Doctorat, FUCAM, Mons.

Pirkul H and Jayaraman V, (1998) A multi-commodity, multi-plant, capacitated facility location problem: formulation and efficient heuristic solution Computers & Operations Research, Volume 25, Issue 10, Pages 869-878

Pirttilä T., Hautaniemi P., (1995) Activity-based costing and distribution logistics management, International Journal of Production Economics 41, pp 327-333.

Pochet Y., Wolsey L., (1991) Solving multi-item lot-sizing problems using strong cutting planes, Management Science, Vol.37, pp 53–67.

Porter M., (1986) L'avantage concurrentiel, Paris, Inter-editions.

Rasmussen R., Savory P., Williams R., (1999) Integrating simulation with activity-based management to evaluate manufacturing cell part sequencing, Computers & Industrial Engineering, Volume 37, Issue 4, 1 December, pp 757-768.

- 
- Richey G. R., Chen H., Genchev S.E, Daugherty P. J., (2005) Developing effective reverse logistics programs, *Industrial Marketing Management* 34, pp 830-840.
- Rizk N., Martel A., (2001) Supply chain flow planning methods: a review of the lot-sizing literature, Working paper DT-2001-AM-1, Université Laval (Canada).
- Roll Y., Karni R., (1991) Multi item, multi level lot sizing with an aggregate capacity constraint, *European Journal of Operational Research*, Vol. 51, pp 73-87.
- Rota K., (1998), Coordination temporelle de centres gérant de façon autonome des ressources, Application aux chaînes logistiques intégrées en aéronautique, Rapport de thèse, ENSAE, Toulouse.
- Rota-Frantz K., Thierry C., Bel G., (2001) Gestion des flux dans les chaînes logistiques (Supply Chain Management), chapitre 5 de l'ouvrage dirigé par P.Burlat et J-P Campagne " Performance industrielle et gestion des flux", IC2 Productique, Ed. Hermès-Lavoisier.
- Saint de Ugarte B., Génin P. , Lamouri S., (2005) Proposition d'une mise à jour du plan tactique s'appuyant sur la logique flou, CPI 05, Casablanca.
- Salafatinos C., (1996) Modelling resource supply and demand: Expanding the utility of ABC, *International Journal of Production Economics*, Volume 44, pp 177-187.
- Salomon M., R. Kuik, L.N. Van Wassenhove, (1993) Statistical search methods for lot-sizing problems, *Annals Operations Research*, Vol.41, pp 453-468.
- Sambasivan M. and Yahya S., (2005) A Lagrangean-based heuristic for multi-plant, multi-item, multi-period capacitated lot-sizing problems with inter-plant transfers *Computers & Operations Research*, Volume 32, Issue 3, pp 537-555.
- Sarramia D., (2002) ASCI-mi : une méthodologie de modélisation multiple et incrémentielle : application aux systèmes de trafic urbain., Thèse de doctorat, LIMOS, Université Blaise Pascal.
- Schneeweiss C., (2003) Distributed decision making—a unified approach., *European Journal of Operational Research*, Volume 150, Issue 2, 16, pp 237-252.
- Seal W., Cullen J., Dunlop A., Berry T., Mirghani A., (1999) Enacting a European Supply chain : a case study on the role of management accounting, *Management Accounting Research*, Volume 10, pp 303-322.
- Selk B., Kloeckner S., Albani A., (2006) Enabling Interoperability of Networked Enterprises Through an Integrative Information System Architecture for CRM and SCM, *Lecture Notes in Computer Science*, Springer Berlin / Heidelberg, Volume 3812, pp 305- 316.
- Seuring S., (1999), Opportunities through Cost Management : The Example of the Supply Chain for ecoproducts in the apparel industry, Version anglaise, résumée, *Umwelwirtschaftsforum.*, Volume 7, Issue 4, pp 18-23.
- Shapiro R., Heskett J.L., (1985) *Logistics strategy*, West Publishing.
- Shapiro J., (1999) On the connections among activity-based costing and operational research, *European Journal of Operational Research*, Volume 118(2), pp 295-314.
- Shapiro J., (2001) *Modeling the Supply Chain* Duxbury Thomson Learning 2001.
- Simatupang, T. M. and Sridharan, R. (2002). The collaborative supply chain. *International Journal of Logistics Management*, 13, pp. 15-30.
- Simchi-Levi D., Kaminsky P., Simchi-Levi E., (2003), *Designing and Managing the Supply Chain*, McGraw Hill.
- Spedding T.A., Sun G.Q., (1999) Application of discrete event simulation to the activity based costing of manufacturing systems, *International Journal of Production Economics*, Volume 58, pp 289-301.

- Stadler H., (1996) Mixed integer programming model formulations for dynamic multi-item multi-level capacitated lotsizing, *European Journal of Operational Research*, Vol.94, pp 561-581.
- Stadler H., Kilger C., (2001) SCM, An overview in *Supply Chain Management and Advanced Planning*, Springer
- Stadler H., (2005) Supply chain management and advanced planning—basics, overview and challenges, *European Journal of Operational Research*, Volume 163, Issue 3, pp 575-588.
- Steger-Jensen K., Svensson C., (2004) Issues of mass customisation and supporting IT-solutions, *Computers in Industry*, Volume 54, Issue 1, May 2004, pp 83-103.
- Supply Chain Council. (2006) Supply Chain Operation Reference Model, [www.SupplyChain.org](http://www.SupplyChain.org).
- Takakuwa, S., (1997) The use of simulation in activity-based costing for flexible manufacturing systems. *Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference*, December 7-10, Atlanta, GA, (USA), pp 793-800.
- Tang O., (2004) Simulated Annealing in lot sizing problem, *International Journal of Production Economics*, Vol.88, N°2, pp 173-181.
- Tchernev N., (1997) La modélisation du processus logistique dans les systèmes flexibles de production. Thèse de Doctorat en informatique, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, 1997.
- Tchernev N., (2003) Approvisionnement et logistique, Manuel de l'étudiant, Institut Universitaire Professionnalisé Management et Gestion des Entreprises, Université d'Auvergne.
- Tchernev N., (2004) Intégration des problèmes de gestion lors de la modélisation et l'optimisation de la chaîne logistique, *La logistique entre Management et Optimisation*, Lièvre P., et Tchernev N. Eds, Hermes Lavoisier, pp 24-33.
- Tempelmeier H., Helber S., (1994) A heuristic for dynamic multi-item multi-level capacitated lotsizing for general product structures", *European Journal of Operations. Research*, Vol.75, pp 296-311.
- Tempelmeier H., Derstro M., (1996) A Lagrangean based heuristic for dynamic multi-item multi-level constrained lot sizing with setup times", *Management Science*, Vol.42, pp738-758.
- Tempelmeier H., (2006) (a) Supply chain inventory optimization with two customer classes in discrete time, *European Journal of Operational Research*, 174, 600–621.
- Tempelmeier H., (2006) (b) *Inventory-Management in Supply Networks – Problems, Models, Solutions*. Norderstedt: Books on Demand. Hardcover; 312 pages; ISBN 3833453737.
- Terzia S., Cavalieri S., (2004) Simulation in the Supply Chain context: a survey, *Computers in Industry* 53, pp 3-16.
- Teunter R.H, Klein W.K., (1996) Reserving spare parts for critical demand. Research Report, Graduate School/Research Institute System, Organisations and Management (SOM), University of Groningen, The Netherlands.
- Tham, K.D., (1999) Representation and Reasoning About Costs Using Enterprise Models and ABC, PhD Dissertation, Enterprise Integration Laboratory, Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Toronto.
- Thierry, C., N. Chapeaublanc, P. Lepage, G.. Bel, (1994) "Multi site Planning: A centralized or a distributed approach?", *Conference INRIA*, Sophia Antipolis, France.
- Thizy J.M., Van Wassenhove L.N. (1985), Lagrangean relaxation for the multi-item capacitated lotsizing problem : a heuristic implementation, *IIE Transactions*, Vol.17, pp 308–313.

Thomas D.J et Griffin. P.M, (1996) Co-ordinated supply chain management, *European Journal of Operational Research*, Volume 94, Issue 3, p 1–15.

Thomas A., (2003) Université d'été, ENSGI.

Timpe C.H., Kallrath J., (2000) Optimal planning in large multi-site production networks, *European Journal of Operational Research*, Vol.126, pp 422-435.

Topkis, D.M., (1968) Optimal ordering and rationing policies in a nonstationary dynamic inventory model with n demand classes, *Management Science*, vol. 15, pp. 160–176.

Torabi S.A, Hassini E., (2007) An interactive possibilistic programming approach for multiple objective supply chain master planning, *Fuzzy set and System*, In press.

Trigeiro W.W., Thomas L.J., Mc Clain. J.O, (1989) Capacitated lot sizing with setup times, *Management science*, Vol. 35, pp 353–366.

Tseng, Y.J., Jiang, B.C., (2000) Evaluating multiple feature based machining methods using an activity-based cost analysis model. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Volume 16, pp 67–623.

Van Damme D., Van der Zon F., (1999) Activity Based Costing and decision support, *the international journal of logistics management*, Volume 10, Issue 1, pp 187-192.

Van Landeghem H., Vanmaele H., (2002) Robust planning: a new paradigm for demand chain planning, *Journal of Operations Management* Volume 20., pp769–783.

Veinot A.F, (1965) Optimal policy in a dynamic, single product, non stationary inventory model with several demand classes, *Operations Research*, 13 :761-778.

Veinot A.F, (1966) The status of mathematical inventory theory, *Management Science*, 12:745-777.

Vericout, F.D, Karaesmen F, Dallery Y., (2000) Dynamic Scheduling in a Make to Stock System: A partial characterization of optimal policies, *Operations research*, 48(5), 811-819.

Vericout, F.D, Karaesmen F, Dallery Y., (2002) Optimal stock allocation for a capacitated supply system, working paper, Duke University, 2002.

Vickery S.K., Jayaram J., Droge C., Calantone R., (2003) The effects of an integrative Supply Chain strategy on customer service and financial performance: an analysis of direct versus indirect relationships, *Journal of Operations Management*, Volume 21(5), pp523-539.

Vob S. , Woodruff D.L., (2003) Introduction to computational optimization models for production planning in supply chain, Springer-Verlag, Berlin, Heilderberg.

Vollmann T.E., Berry D.W, Whybark D.C, (1997) *Manufacturing planning and control Systems*, 4th ed., New York et al.

Vöros J., (2002), On the relaxation of multi-level dynamic lot-sizing models", *International Journal of Production Economics*, Vol.77, N°1, pp 53-61.

Vowles L., (1995) Chain of demand, *CMA Magazine*, Volume 69, n°7, p15-21.

Yard S. (2000) Developments of the payback method, *International Journal of Production Economics*, Volume 67, pp 155-167.

Wagner H.M., Whitin T.M., (1958) Dynamic version of the economic lot size models, *Management science*, Vol 5, pp 89-96.

Weygandt S., (1996) Getting the MES : methods for system analysis, *ISA Transactions*, Volume 35, p. 95-103.



Williamson O.E., (1988) *The Economic Institutions of Capitalism - Firms, Markets, Relational Contracting*, Simon and Schuster Trade Division, New York.

Wolosewicz C., Dauzère-Péres S., Aggoune R., (2006) *Modélisation et résolution d'un problème général de planification et d'ordonnancement*, 6ème conférence francophone de modélisation et simulation (MOSIM), Rabat.

Womack J.P., Johnes D.T., Roos D., (1992) *Le système qui va changer le monde : Analyse des industries automobiles mondiales* dirigée par le MIT, édition Dunod

Xie J., Lee T.T., Zhao X., (2004) *Impact of forecasting error on the performance of capacitated multi-item production systems*, *Computers & Industrial Engineering*, in press.

## TABLE DES FIGURES

Figure 1-1. Le couplage flux physique/flux informationnel dans une perspective de logistique industrielle (Shapiro et Heskett, 1985) .....	16
Figure 1-2. Les activités du processus logistique d'une chaîne logistique (Stadler, 2005) .....	16
Figure 1-3. Chaînage des processus entre organisations dans la chaîne logistique .....	17
Figure 1-4. La maison du Supply Chain Management (Stadler et Kilger, 2001) .....	18
Figure 1-5. Hiérarchisation des problématiques de la chaîne logistique .....	19
Figure 1-6. Fréquence de remise en cause des problèmes de planification .....	19
Figure 1-7. Problématique de la planification des chaînes logistiques (Stadler, 2005) .....	20
Figure 1-8. Cadre décisionnel du PIC (Womack <i>et al.</i> , 1992). .....	22
Figure 1-9. L'intégration de DRP à la structure de planification MRP II (Lamouri et Thomas, 2000). .....	24
Figure 1-10. Synoptique de la chaîne logistique .....	30
Figure 2-1. Classification des modèles de lot sizing. ....	38
Figure 2-2. Classification des approches de résolution pour le CLSP .....	41
Figure 2-3. Classification des approches de résolution pour le CLSP-ST .....	43
Figure 2-4. Exemple de nomenclature et de la matrice « gozinto » associée .....	45
Figure 2-5. Types de nomenclatures .....	45
Figure 2-6. La notion de « lead time » : entrée et sortie (Bel., 2005) .....	47
Figure 2-7. Classification des approches de résolution pour le MLCLSP .....	48
Figure 2-8 Méthodologie ABC (Shapiro, 1999) .....	57
Figure 2-9 Consommation des ressources par le modèle de coût ABC. (Comelli <i>et al.</i> , 2006) .....	59
Figure 2-10 Réponses logicielles au SCM .....	64
Figure 2-11. Principaux modules des APS (Stadler et Kilger, 2001) [? 2005 / 2001] .....	64
Figure 2-12. Processus de planification dans un APS (Lamouri et Thomas, 2000) .....	65
Figure 2-13. Evolution des coûts de 3 solutions suivant le pourcentage de commandes clients privilégiées .....	70
Figure 2-14. Double complexité des problèmes de planification .....	71
Figure 2-15. Schéma global de la méthodologie ASCI (Gourgand et Kellert, 1991) .....	72
Figure 2-16. Processus de modélisation ASCI .....	73
Figure 2-17. Interaction entre les 3 sous systèmes (ASCI) .....	74
Figure 2-18. Processus de prise de décision ASCI .....	75
Figure 3-1. Diagramme de classe du sous système physique d'un problème de planification tactique des chaînes logistiques .....	80
Figure 3-2. Diagramme de classe du sous système logique d'un problème de planification tactique des chaînes logistiques .....	80
Figure 3-3. Diagramme de classe du sous système décisionnel d'un problème de planification tactique des chaînes logistiques .....	80
Figure 3-4. Modèle de connaissance globale UML d'un problème de planification tactique des chaînes logistiques .....	82
Figure 3-5. Modèle de connaissance restreint d'un problème de planification tactique des chaînes logistiques .....	83
Figure 3-6. Cas générique. Lead times entre usines .....	84
Figure 3-7. Proposition prise en compte des lead times entre usines .....	84
Figure 3-8. Modèle de classe technique .....	86
Figure 3-9. Codages utilisés pour les problèmes de lot sizing .....	89
Figure 3-10. Matrice gozinto .....	90
Figure 3-11. Matrice d'affectation des produits .....	90
Figure 3-12. Illustration (1) .....	90
Figure 3-13. Illustration (2) .....	91
Figure 3-14. Architecture de fonctionnement de la méthode de résolution proposée .....	91
Figure 3-15. Exemple de nomenclature considérée .....	92
Figure 3-16. Exemple de chaîne logistique considérée .....	92
Figure 3-17. Exemple de plans initiaux de production et stocks associés .....	92
Figure 3-18. Exemple de plans de production et stocks associés après voisinage augmentation .....	93
Figure 3-19. Exemple plans de production et stocks associés après voisinage réduction .....	94
Figure 3-20. Exemple de plans de production et stocks associés après voisinage à gauche .....	94
Figure 3-21. Exemple de plans de production et stocks associés après voisinage à gauche .....	95
Figure 3-22. Nomenclature considérée .....	96
Figure 3-23. Impact de l'augmentation d'une production sur une usine .....	96
Figure 3-24. Impact de la diminution d'une production sur une usine .....	97
Figure 3-25. Matrice gozinto .....	102

Figure 3-26. Synoptique de la chaîne logistique .....	103
Figure 4-1. Diagramme causal entre flux physiques et financiers (Fenies, 2006).....	112
Figure 4-2. Sous système physique d'un problème de planification tactique des chaînes logistiques .....	114
Figure 4-3. Sous système logique d'un problème de planification tactique des chaînes logistiques avec prises en compte des aspects financiers .....	114
Figure 4-4. Sous système décisionnel d'un problème de planification tactique des chaînes logistiques avec prise en compte des aspects financiers .....	115
Figure 4-5. Modèle de connaissance globale UML d'un problème de planification tactique des chaînes logistiques avec prise en compte des aspects financiers .....	116
Figure 4-6. Création des cash flow.....	117
Figure 4-7. Synthèse de l'approche PREVA (Comelli et al, 2005).....	120
Figure 4-8. Matrice gozinto.....	121
Figure 4-9. Synoptique de la chaîne logistique considérée .....	122
Figure 4-10. Modélisation ARIS CPE. Processus logistique (1).....	124
Figure 4-11. Modélisation ARIS CPE. Processus logistique (2).....	125
Figure 4-12. Mise en œuvre de PREVA pour l'évaluation financière d'un plan tactique .....	127
Figure 4-13. Valeur des créations de valeur par BU et par produit.....	128
Figure 4-14. Valeur des cash flow et des cash positions pour la chaîne logistique entière .....	129
Figure 5-1. Consommation des ressources.....	137
Figure 5-2. Affectation des stocks à des usines (a) .....	138
Figure 5-3. Affectation des stocks à des usines (b) .....	138
Figure 5-4. Affectation des stocks amont et aval aux usines.....	138
Figure 5-5. Affectation du stock amont aux usines .....	138
Figure 5-6. Affectation du stock aval aux usines .....	139
Figure 5-7. Aucune affectation du stock aval aux usines .....	139
Figure 5-8. Considération d'un stock unique par produit.....	139
Figure 5-9. BU consommatrice de stock sans rattachement de ce dernier .....	141
Figure 5-10. BU génératrices de stock sans rattachement de ce dernier .....	141
Figure 5-11. Rattachement du stock à la BU génératrice de stock .....	142
Figure 5-12. Rattachement du stock aux BU génératrices de stock .....	143
Figure 5-13. Modélisation des flux financiers entre BU .....	144
Figure 5-14. Modélisation des flux financiers entre BU génératrices de cash flow .....	145
Figure 5-15. Adjonction de la fonction objectif financière .....	145
Figure 5-16. Chaînage de modèles : Optimisation et partage de la valeur .....	147
Figure 5-17. Fonctions objectif pour le modèle de partage de la valeur .....	149
Figure 5-18. Matrice gozinto.....	150
Figure 5-19. Synoptique de la chaîne logistique considérée .....	151
Figure 5-20. Cash position obtenue par les prix de cession initiaux .....	159
Figure 5-21. Cash position obtenu par les prix de cession générés par Z1 .....	159
Figure 5-22. Cash position obtenu par les prix de cession générés par Z2 .....	159
Figure 6-1. Synoptique de la chaîne logistique .....	164
Figure 6-2. Sous système physique de la chaîne logistique considérée .....	165
Figure 6-3. Sous système logique de la chaîne logistique considérée .....	165
Figure 6-4. Sous système décisionnel de la chaîne logistique considéré .....	165
Figure 6-5. Modèle de connaissance UML de la chaîne logistique considérée.....	166
Figure 6-6. Processus de satisfaction client.....	167
Figure 6-7. Processus de commandes des magasins aux usines.....	167
Figure 6-8. Processus de réponse à la commande client .....	168
Figure 6-9. Processus de réponse à la commande client .....	169
Figure 6-10. Schéma global du DRP.....	169
Figure 6-11. Solution du stock commun .....	171
Figure 6-12. Solution des stocks dédiés .....	171
Figure 6-13. Solution du seuil de rationnement .....	171
Figure 6-14. Processus de livraison du magasin .....	172
Figure 6-15. Gestion des BO Solution du stock commun et des stocks dédiés .....	172
Figure 6-16. Gestion des BO Solution du seuil de rationnement .....	173
Figure 6-17. Evolution du coût de stockage pour la solution 1MAG.....	178
Figure 6-18. Evolution du coût de stockage pour la solution 1MAG et 2MAG.....	178
Figure 6-19. Evolution du coût de stockage pour les trois solutions.....	178
Figure 6-20. Seuil à partir duquel la solution 2MAG est moins avantageuse que la solution 1MAG.....	179

---

Figure 6-21. Impact de l'erreur de prévision à la maille client .....	180
Figure 6-22. Impact de l'erreur de prévision à la maille .....	180
Figure 6-23. Impact de l'écart entre les TSD désirés sur le seuil .....	181
Figure 6-24. Courbes générées par l'étude.....	182
Figure 6-25. Courbes données par (Deshpande, 2003) .....	182

## TABLE DES TABLEAUX

Tableau 2-1. Approches de résolution pour le CLSP .....	42
Tableau 2-2. Approches de résolution pour le CLSP-ST .....	44
Tableau 2-3. Approches de résolution pour le MLLP .....	47
Tableau 2-4. Approches de résolution pour le MLCLSP .....	49
Tableau 2-5. Approches de résolution MLCLSP-ST .....	49
Tableau 2-6. Principales contributions utilisant le modèle ABC .....	59
Tableau 2-7. Contributions majeures utilisant ABC pour des problématiques tactiques .....	61
Tableau 2-8. Contributions majeures utilisant ABC pour des problématiques tactiques .....	62
Tableau 2-9 Récapitulatif APS vs Evaluation financière (Féniès <i>et al.</i> , 2004) .....	66
Tableau 2-10 Classification (Kleijn et Dekker, 1998).....	67
Tableau 2-11 Algorithme de fixation des paramètres de la solution par seuil .....	69
Tableau 3-1. Résultats initiaux pour le modèle de Vörös adapté: Solveur vs Métaheuristiques.....	106
Tableau 3-2. Résultats initiaux pour le modèle de Vörös adapté : Solveur vs Recuit simulé. Décomposition fonction objectif.....	106
Tableau 3-3. Résultats initiaux pour le modèle de l'étude: Solveur vs Métaheuristiques .....	108
Tableau 3-4. Résultats initiaux pour le modèle de l'étude: Solveur vs Métaheuristiques. Fonction obj.....	109
Tableau 4-1. Tableau d'activité et d'inducteurs de coûts associés (Iashöshatt, 2004).....	119
Tableau 4-2. Ressources considérées .....	122
Tableau 4-3. Activités considérées.....	122
Tableau 4-4. Inducteurs de coûts considérés .....	123
Tableau 4-5. Critères physiques et financiers des produits .....	127
Tableau 4-6. Valeur des critères physiques pour l'heuristique physique .....	127
Tableau 4-7. Valeur des critères physiques pour l'heuristique financière.....	128
Tableau 4-8. Résultats des stocks pour les deux heuristiques physique et financière .....	128
Tableau 4-9. Valeur des potentiels de création de valeur par produit .....	129
Tableau 4-10. Tableau récapitulatif des critères physiques et financiers .....	129
Tableau 5-1. Variables physiques et variables financières.....	136
Tableau 5-2. Ressources, activités et inducteurs de coûts considérés .....	151
Tableau 5-3. Inducteurs de coûts considérés par usine et activité .....	151
Tableau 5-4. Variables fixées par le modèle A .....	153
Tableau 5-5. Correspondances entre variables physiques et financières.....	154
Tableau 5-6. Données du modèle B. ....	154
Tableau 5-7. Variables du modèle B .....	155
Tableau 5-8. Instanciation de la fonction objectif .....	156
Tableau 5-9. Optimisation des flux physiques vs flux financiers.....	157
Tableau 5-10 Résultats obtenus par le modèle A. ....	158
Tableau 5-11. Prix de cession établis initialement .....	158
Tableau 5-12. Prix de cession générés par Z1 .....	158
Tableau 5-13. Prix de cession générés par Z2.....	158
Tableau 5-14. Cash position de chaque firme à la dernière période.....	160
Tableau 5-15. Résultats Z1 et Z2 .....	160
Tableau 6-1. Classification des données et variables du modèle .....	174
Tableau 6-2. Paramètres du modèle de simulation.....	174
Tableau 6-3. Variables d'entrée du modèle de simulation .....	175
Tableau 6-4. Impact de l'erreur de prévision et la réponse usine.....	176
Tableau 6-5. TSD exigé pour chaque type de client .....	180

## ANNEXE : Algorithmes de principe des procédures de voisinage

L'annexe présente les algorithmes de fonctions utilisées dans les procédures de réparation associées aux voisinages proposés au chapitre 3.

---

### **Fonction 1 Augmentation voisinage (i,j,k)**

---

Début

Choisir au hasard i, j et k.

Si  $M_{ik}=1$  Alors

$X = \text{alea}(C_{jk} - Q_{ijk})$

$Q_{ijk} = Q_{ijk} + X$

Fin si

Fin

---



---

### **Fonction 2 Diminution surplus par augmentation forcée production aval ()**

---

Début

Tant que surplus détecté dans le graphe G indicé  $(i^*, j^*)$  et surplus détecté  $>$  surplus détecté précédent

Exécuter Fonction3\_Augmentation\_forcée\_production\_aval  $(i^*, j^*)$

Fin tant que

Fin

---



---

### **Fonction 3 Augmentation forcée production aval $(i^*, j^*)$**

---

Début

$A = |S(i^*, j^*)|$

$j = j^*$

Tant que  $A > 0$  et  $\text{PredIm}(i^*) \neq \emptyset$

Choisir i aléatoirement  $\in \text{PredIm}(i^*)$

$\text{PredIm}(i^*) = \text{PredIm}(i^*) - \{i\}$

Réinitialiser K

Tant que  $A > 0$  et  $K \neq \emptyset$

Choisir aléatoirement  $k \in K$

Si  $m_{ik}=1$  alors

Tant que  $(C_{jk} - Q_{ijk}) > 0$  et  $A > 0$

$Q_{ijk} = Q_{ijk} + 1$

$A = A - 1$

Tant que  $\sum Q_{ajk} \geq C_{jk}$

Choisir au hasard  $i' \in I - i / m_{i'k}=1$

$Q_{i'jk} = Q_{i'jk} - 1$

$\text{Stockmémoire} = \text{Stockmémoire} + \{i'\}$

Fin tant que

Fin tant que

Fin si

Fin tant que

Fin Tant que

Fin

---



---

### **Fonction 4 Annulation stock négatif détecté par augmentation forcée production amont(i,j)**

---

Début

Tant que stock négatif détecté sur l'ensemble des nœuds  $I - \{\text{Stockmémoire}\}$  indicé  $(i,j)$

Si stock détecté = stock précédent alors FonctionStockPersistant(i,j)

Exécuter Fonction\_5\_Augmentation\_forcée\_production\_amont(i,j)

---

**Fin si**  
**Fin tant que**  
Fin

---



---

**Fonction 5 Augmentation forcée production amont ( $i^*, j^*$ )**

---

Début

$A = |S(i^*, j^*)|$   
 $i = i^*$   
**Tant que**  $A > 0$  et  $K \neq \emptyset$   
     Choisir  $k \in K$   
      $K = K - \{k\}$   
     **Si**  $m_{ik} = 1$  alors  
          $j = j^* - 1(i^*, k)$   
         **Tant que**  $A > 0$  et  $(C_{jk} - Q_{ijk}) > 0$   
              $Q_{ijk} = Q_{ijk} + 1$   
              $A = A - 1$   
             **Tant que**  $\sum Q_{ajk} \geq C_{jk}$   
                 Choisir au hasard  $i' \in I - i / m_{i'k} = 1$   
                  $Q_{i'jk} = Q_{i'jk} - 1$   
                 Stockmémoire = Stockmémoire +  $\{i'\}$   
             **Fin tant que**  
         **Fin Tant que**  
     **Fin si**  
**Fin Tant que**  
Fin

---



---

**Fonction 6 StockPersistant( $i, j$ )**

---

Début

    Exécuter Fonction\_7\_Annulation\_stock\_négatif\_déecté\_par diminution\_production\_aval( $i, j$ )

Fin

---



---

**Fonction 7 Annulation stock négatif par diminution production aval( $i, j$ )**

---

Début

**Tant que** stock négatif détecté indicé par  $(i', j')$  parmi  $(Pred(i) + i)$ .  
     Exécuter Fonction\_8\_Diminution\_production\_aval( $i', j'$ )  
**Fin tant que**

Fin

---



---

**Fonction 8 Diminution production aval ( $i^*, j^*$ )**

---

Début

$A = |S(i^*, j^*)|$   
 $j = j^*$   
  
**Tant que**  $A > 0$  et  $PredIm(i^*) \neq \emptyset$   
     Choisir  $i$  aléatoirement  $\in PredIm(i^*)$   
      $PredIm(i^*) = PredIm(i^*) - \{i\}$

Réinitialiser K

**Tant que**  $A > 0$  et  $K \neq \emptyset$

Choisir k aléatoirement  $\in K$  ' 1 même usine peut fabriquer deux produits précédents

$K = K - \{k\}$

**Si**  $m_{ik} = 1$

**Tant que**  $A > 0$  et  $Q_{ijk} > 0$

$Q_{ijk} = Q_{ijk} - 1$

$A = A - 1$

**Fin Tant que**

**Fin si**

**Fin Tant que**

**Fin tant que**

Fin

### **Fonction 9 Diminution surplus par diminution production\_ament(i\*,j\*)**

Début

**Tant que** surplus détecté dans le graphe G indicé (i\*,j\*)

Fonction\_10\_Diminution\_production\_ament(i\*,j\*)

**Fin tant que**

Fin

### **Fonction 10 Diminution production\_ament(i\*,j\*)**

Début

$A = |S(i^*, j^*)|$

$i = i^*$

**Tant que**  $A > 0$

Choisir aléatoirement  $k \in [1, K]$

$K = K - \{k\}$

**Si**  $m_{ik} = 1$

$j = j^* - 1(i^*, k)$

**Tant que**  $A > 0$  et  $Q_{ijk} > 0$

$Q_{ijk} = Q_{ijk} - 1$

$A = A - 1$

**Fin Tant que**

**Fin si**

**Fin Tant que**

Fin

### **Fonction 11 Diminution voisinage (i\*, j\*, k\*)**

Début

**Si**  $M_{i^*k^*} = 1$

$X = \text{alea}(Q_{i^*j^*k^*})$

$Q_{i^*j^*k^*} = Q_{i^*j^*k^*} - X$

**Fin Si**



Fin

**Fonction 12 Regroupementagauchevoisinage(i, j1\*, j2\*, k\*)**

Début

Soit ENS(i\*) l'ensemble de nœuds regroupant les successeurs de i\* et les successeurs des prédécesseurs de i\* dans le graphe G.

**Exécuter** Fonction\_13 \_calcul\_minimum\_quantité\_déplacement\_12 (ENS(i\*), X)

**Si**  $M_{i^*k}=1$

$Q_{i^*j1^*k^*}=Q_{i^*j1^*k^*}+X$

$Q_{i^*j2^*k^*}=Q_{i^*j1^*k^*}-X$

**Fin si**

Fin

**Fonction 13 calcul minimum quantité déplacement 12 (ENS(i\*), j1\*, j2\*)**

Début

**Pour**  $i \in \text{PredIm}(i^*)$ , **Pour** tout  $k / M_{i^*k}=1$   
 $\text{ensj1}(i) = j1^* + l(i^*, k)$

**Fin pour**

**Pour**  $i \in \text{Pred}(i^*)$  traité par niveau décroissant

Définir  $E(i) = \text{SuccIm}(i) \cap (\text{Pred}(i^*) + i^*)$

$E(i) = E(i) - i$

**Tant que**  $E(i) \neq \emptyset$

Choisir  $i' \in E(i)$

**Pour**  $a \in \text{ensj1}(i')$

**Pour**  $k / M_{i^*k}=1$

$\text{ensj1}(i) = \text{ensj1}(i) + \{a + l(i', k)\}$

**Fin pour**

**Fin pour**

**Fin tant que**

**Fin pour**

**Pour**  $i \in \text{Succ}(\text{Pred}(i^*)) - \text{Succ}(i^*)$  traité par niveau croissant

Définir  $E(i) = \text{Pred}(i) \cap ((\text{Pred}(i^*) + i^*) \cup \text{Succ}(\text{Pred}(i^*)))$

$E(i) = E(i) - i$

**Tant que**  $E(i) \neq \emptyset$

Choisir  $i' \in E(i)$

**Pour**  $a \in \text{ensj}(i')$

**Pour**  $k / M_{ik}=1$

$\text{ensj1}(i) = \text{ensj1}(i) + \{a - l(i', k)\}$

**Fin pour**

**Fin pour**

**Fin tant que**

**Fin pour**

**Pour**  $i \in \text{SuccIm}(i^*)$

**Pour**  $k / M_{ik}=1$

$\text{ensj1}(i) = \text{ensj1}(i) + \{j^* - l(i, k)\}$

**Fin pour**

**Fin pour**

**Pour**  $i \in \text{Succ}(i^*)$ , traité par niveau croissant

---

```

Définir  $E(i) = (\text{Succ}(i^*) + i^*) \cap (\text{Pred}(i))$ 
 $E(i) = E(i) - i$ 
Tant que  $E(i) \neq \emptyset$ 
    Choisir  $i' \in E(i)$ 
    Pour  $a \in \text{ensj}(i')$ 
        Pour  $k / M_{ik} = 1$ 
             $\text{Ens}j1(i) = \text{ensj}1(i) + \{a - l(i', k)\}$ 
        Fin pour
    Fin pour
Fin tant que
Fin pour

Pour  $i \in \text{ENS}(i^*)$ 
    Pour  $i' \in (\text{Pred}(i) \cap (\text{ENS}(i^*) - \text{Pred}(i^*)))$  pris par niveau décroissant
         $\text{Coeff}(i) = \text{Coeff}(i^*) * \text{'somme sur les prédécesseurs de } i' \text{ des coeff de nomenclature.}$ 
    Fin pour
Fin pour

Pour  $i \in \text{ENS}(i^*)$ 
     $\text{ensj}1 = \text{ensj}1(i)$ 
    Pour  $j \in \text{ensj}1(i)$ 
        Pour  $k \in [1, K]$ 
            Si  $m_{ik} = 1$  alors
                 $\text{Rest}[i] = \text{Rest}[i] + (C_{j1k} - Q_{ij1k})$  'on calcule la quantité théorique que l'on peut
                déplacer
            Fin si
        Fin Pour
         $\text{Restmin}[i] = \text{Min}(\text{Restmin}[i], \text{Rest}[i])$ 
    Fin Pour
     $\text{Restmin}[i] = \text{Restmin}[i] / \text{Coeff}(i)$ 
Fin pour

 $X = \text{Min}(Q_{ij1k}, \text{Restmin}[i])$ 

Fin

```

---

**Fonction 14 Diminution Fsurplus production avalG(i\*, j1\*, j2\*)**


---

Début

```

 $A = |S(i^*, j1^*)|$ 
Tant que  $A > 0$  et  $\text{PredIm}(i^*) \neq \emptyset$ 
    Choisir  $i$  aléatoirement  $\in \text{PredIm}(i^*)$ 
     $\text{PredIm}(i^*) = \text{PredIm}(i^*) - i$ 
     $j1 = j1^*$ 
     $j2 = j2^*$ 
    Réinitialiser  $K$ 
    Tant que  $A > 0$  et  $K \neq \emptyset$ 
        Choisir aléatoirement  $k \in K$ 
         $K = K - \{k\}$ 
        Si  $m_{ik} = 1$ 
            Tant que  $A > 0$  et  $Q_{ij1k} > 0$  et  $(C_{j1k} - Q_{ij1k}) > 0$ 
                 $Q_{ij1k} = Q_{ij1k} + 1$ 
                 $Q_{ij2k} = Q_{ij2k} - 1$ 
                 $A = A - 1$ 
                Tant que  $\sum Q_{aj1k} \geq C_{j1k}$ 
                    Choisir au hasard  $i' \in I - i / m_{i'k} = 1$ 
                     $Q_{i'j1k} = Q_{i'j1k} - 1$ 
                     $\text{Stockmémoire} = \text{Stockmémoire} + \{i'\}$ 

```

---

```

                                Fin tant que
                            Fin tant que
                        Fin si
                    Fin tant que
                Fin tant que

                Si A>0
                    SurplusP= SurplusP+{i*}
                Fin Si

Fin

```

---



---

**Fonction 15 Diminution Fsurplus production amontD (i\*, j1, j2)**


---

```

Début
    A=|S(i*,j1*)|
    i=i*
    Tant que A>0 et K ≠ ∅
        Choisir aléatoirement k ∈ K
        K=K-{k}
        Si mik=1
            j1=j1*-l(i*,k)
            j2= j2*-l(i*,k)
            Tant que A>0 et Qij1k>0 et (Cj2k- Qij2k)>0
                Qij1k=Qij1k-1
                Qij2k=Qij2k+1
                Tant que ∑ Qaj2k ≥ Cj2k
                    Choisir au hasard i' ∈ I - i / mi'k=1
                    Qi'j2k=Qi'j2k-1
                    Stockmémoire= Stockmémoire+{i'}
                Fin tant que
            Fin tant que
        Fin si
    Fin tant que
    Si A>0
        SurplusP= SurplusP+{i*}
    Fin Si

Fin

```

---



---

**Fonction 16 Annulation Stock négatif production amontG (i\*, j1, j2)**


---

```

Début
    A=|S (i*,j1*)|
    i=i*
    Tant que A>0
        Choisir aléatoirement k ∈ K
        K=K-{k}
        Si mik=1
            j1=j1*-l(i*,k)
            j2= j2*-l(i*,k)
            Tant que Qij2k>0 et A>0 et (Cj1k- Qij1k)>0
                Qij2k=Qij2k-1
                Qij1k=Qij1k+1
                A=A-1
                Tant que ∑ Qaj1k ≥ Cj1k
                    Choisir au hasard i' ∈ I - i / mi'k=1
                    Qi'j1k=Qi'j1k-1
                    Stockmémoire= Stockmémoire+{i'}
            Fin tant que
        Fin si
    Fin tant que

Fin

```

---

**Fin tant que**  
**Fin tant que**  
**Fin si**  
**Fin tant que**

Fin

**Fonction 17 Annulation Stock négatif production avalD (i\*,j1\*,j2\*,k\*)**

Début

$A = |S(i^*, j1^*)|$   
 $j1 = j1(i)$   
 $j2 = j2(i)$   
**Tant que**  $A > 0$  et  $PredIm(i^*) \neq \emptyset$   
     Choisir  $i$  aléatoirement  $\in PredIm(i^*)$   
      $PredIm(i^*) = PredIm(i^*) - i$   
      $j1 = j1^*$   
      $j2 = j2^*$   
     Réinitialiser  $K$   
     **Tant que**  $A > 0$  et  $K \neq \emptyset$   
         Choisir aléatoirement  $k \in K$   
          $K = K - \{k\}$   
         Si  $m_{ik} = 1$   
             **Tant que**  $A > 0$  et  $Q_{1ijk} > 0$  et  $(C_{j2k} - Q_{ij2k}) > 0$   
                  $Q_{ij1k} = Q_{ij1k} - 1$   
                  $Q_{ij2k} = Q_{ij2k} + 1$   
                  $A = A - 1$   
                 **Tant que**  $\sum Q_{aj2k} \geq C_{j2k}$   
                     Choisir au hasard  $i' \in I - i / m_{i'k} = 1$   
                      $Q_{i'j2k} = Q_{i'j2k} - 1$   
                     Stockmémoire = Stockmémoire +  $\{i'\}$   
                 **Fin tant que**  
     **Fin tant que**  
     **Fin si**  
**Fin tant que**

Fin

**Fonction 18 Regroupement adroite voisinage (i, j1\*, j2\*, k\*)**

Début

**Exécuter** Fonction\_19\_calcul\_minimum\_quantité\_déplacement (i\*, j1\*, j2\*, k\*)  
**Si**  $M_{i^*k^*} = 1$   
      $Q_{i^*j1^*k^*} = Q_{i^*j1^*k^*} + X$   
      $Q_{i^*j2^*k^*} = Q_{i^*j2^*k^*} - X$   
**Fin si**

Fin

**Fonction 19 calcul minimum quantité déplacement (i\*, j1\*, j2\*, k\*)**

Début

---

```

Pour  $i \in \text{PredIm}(i^*)$ 
  Pour  $k / M_{i^*k} = 1$ 
     $\text{ensj1}(i) = j1^* + l(i^*, k)$ 
  Fin pour
Fin pour

Pour  $i \in \text{Pred}(i^*)$  traité par niveau décroissant
  Définir  $E(i) = \text{SuccIm}(i) \cap (\text{Pred}(i^*) + i^*)$ 
   $E(i) = E(i) - i$ 
  Tant que  $E(i) \neq \emptyset$ 
    Choisir  $i' \in E(i)$ 
    Pour tout  $a \in \text{ensj}(i')$ 
      Pour tout  $k / M_{ik} = 1$ 
         $\text{ensj2}(i) = \text{ensj2}(i) + \{a + l(i', k)\}$ 
      Fin pour
    Fin pour
  Fin tant que
Fin pour tout

Pour  $i \in \text{Pred}(i^*) + i^*$ 
   $\text{ensj2} = \text{ensj2}(i)$ 
  Pour  $j \in \text{ensj2}$ 
    Pour  $k \in [1, K]$ 
      Si  $m_{ik} = 1$  alors
         $\text{Rest}[i] = \text{Rest}[i] + (C_{j2k} - Q_{ij2k})$  'on calcule la quantité théorique que
        l'on peut déplacer
      Fin si
    Fin Pour
     $\text{Restmin}[i] = \text{Min}(\text{Restmin}[i], \text{Rest}[i])$ 
  Fin Pour
Fin pour

 $X = \text{Min} (Q_{ij2k}, \text{Restmin}[i])$ 

```

Fin

---





## RESUME

Cette thèse se concentre sur deux problèmes tactiques de gestion des chaînes logistiques, la planification tactique et la gestion de stock à demande différenciée.

Le problème de planification tactique des chaînes logistiques consiste sur un horizon moyen terme à définir des plans de production et de transport minimisant les coûts logistiques générés tout en respectant des contraintes physiques et financières ainsi qu'un taux de satisfaction client souhaité. Contrairement à la problématique de planification mono site, aucun modèle mathématique de référence ayant trait à la planification d'une chaîne logistique (multi site) n'a émergé de ceux présentés dans la littérature. Ainsi, le premier objectif de ce travail est de proposer un modèle de planification tactique générique pour les chaînes logistiques dites à « nomenclature convergente ». Une méthode d'optimisation à base de recuit simulé dédié à ce modèle est également proposée.

Cependant, les modèles de planification proposés dans la littérature sont basés pour la plupart sur la minimisation d'une fonction objectif traduisant les coûts logistiques. Or, de récents travaux ont montré la pertinence de générer les plans tactiques non plus à partir de ces coûts mais à partir d'indicateurs financiers tels que la valeur dégagée, les niveaux de trésorerie, etc.

Le second objectif de ce mémoire est donc d'étudier les liens entre flux physiques et flux financiers afin de définir des modèles de planification tactique optimisant une fonction financière. La problématique de la répartition de la valeur au sein de la chaîne logistique est également étudiée et nous proposons un modèle mathématique répondant à cette dernière thématique. Une approche intégrée pour la planification tactique d'une chaîne logistique articulée autour d'un chaînage de modèles mathématiques (planification / partage de la valeur) est alors proposée.

Enfin, à partir d'un cas d'étude industriel, la dernière partie de ce mémoire présente l'étude d'un problème de gestion de stock dit à demande différenciée. Une comparaison de plusieurs solutions de gestion est proposée à partir d'un modèle de simulation à événement discret.

**Mots Clés : Planification tactique des chaînes logistiques, recuit simulé, flux financier, partage de la valeur, gestion de stock à demande différenciée.**

## ABSTRACT

This thesis deals with two tactical problems of supply chain management, supply chain tactical planning and inventory management for differentiated demand.

Supply chain tactical planning consists in defining production and transport plans on mid term horizon by ensuring both customer satisfaction and cost in a context of physical and financial constraints. Judging from literature, production planning has been largely studied in a mono site context. Thus, different models have been defined as being reference models, studied and compared in many papers. About supply chain tactical planning, none reference models have been yet defined due to the freshness of this problematic. Thus, this thesis proposes a generic model for supply chain tactical planning limited to linear bill of material. An optimisation method based on simulated annealing is then presented.

Most supply chain tactical planning models use objective function based on supply cost (i.e. production, set-up, etc.). Many recent papers have shown the relevance to generate production planning from financial metrics such as created value and cash flow. Thus, this thesis focuses on links between physical and financial flow and proposes a generic function objective allowing to get supply chain tactical planning maximising the supply chain financial value. Moreover, a mathematical model allowing to share value among supply chain entities is proposed. A chaining of mathematical models (planning/value sharing) is then presented.

Last, from a real industrial case, this thesis presents an original study of inventory management for differentiated demand. A comparison of various solutions is presented by using a discrete event simulation model.

**Key words: Supply chain tactical planning, simulated annealing, cash flow, value sharing, inventory management for differentiated demand.**